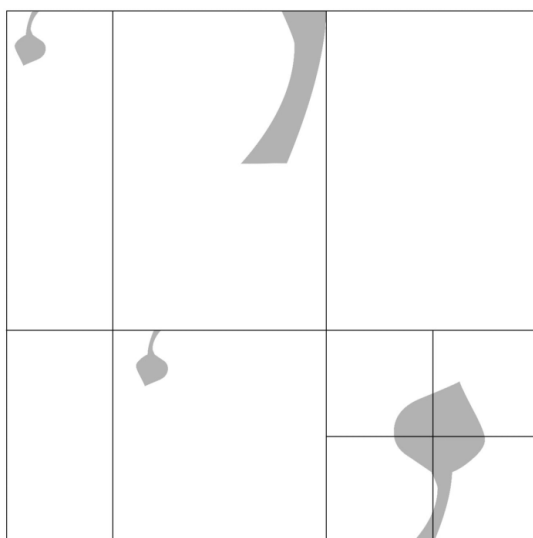


*Dinámica de sistemas y modelado basado en
agentes aplicados al estudio de la despoblación:
una revisión sistemática de la literatura*



Luis Llases, Juanjo Mediavilla

Universidad de Valladolid, España

DOI: 10.4422/ager.2026.06

ager

Revista de Estudios sobre Despoblación y Desarrollo Rural
Journal of Depopulation and Rural Development Studies

Dinámica de sistemas y modelado basado en agentes aplicados al estudio de la despoblación: una revisión sistemática de la literatura

Ideas clave:

1. La despoblación es un proceso sistémico y retroalimentado.
2. La Dinámica de Sistemas y el Modelado Basado en Agentes son adecuados para su estudio.
3. Muchos de los modelos revisados omiten los bucles de retroalimentación fundamentales de la despoblación.
4. La dimensión "relacional" (capital social, lazos comunitarios, sentido de pertenencia) está infrarrepresentada en los modelos.
5. Es necesario avanzar en modelos retroalimentados que integren todas las dimensiones relevantes con mayor detalle.

Resumen: La despoblación supone un desafío global con implicaciones en la economía, los servicios públicos y la cohesión social. Por ello, no puede entenderse solo como un déficit de población, sino como un proceso sistémico y retroalimentado: la pérdida de habitantes genera carencias económicas y de servicios esenciales, provocando nuevas emigraciones. Esta revisión sistemática analiza la literatura académica que aplica Dinámica de Sistemas y Modelos Basados en Agentes al estudio de la despoblación, pues ambos enfoques permiten representar de manera explícita esos bucles de retroalimentación característicos. Se clasificaron 31 publicaciones según categorías como contexto geográfico, metodología, dimensiones representadas, drivers de la evolución poblacional, políticas evaluadas y conclusiones principales. Los resultados muestran que solo una parte minoritaria de los estudios refleja de manera endógena esos bucles. Ello implica la necesidad de avanzar en esta línea, aumentando el nivel de detalle de las interacciones. Además, la dimensión relacional está actualmente infrarrepresentada, y su inclusión constituye una vía importante para mejorar la capacidad de los modelos de simular cómo la cohesión comunitaria, los lazos sociales y el sentido de pertenencia afectan a las decisiones de migración y residencia, ofreciendo así mejores herramientas para el diseño de políticas de mitigación y gestión.

Palabras clave: Bucles de realimentación, círculos viciosos, modelado endógeno, dimensión relacional, ciudades en contracción.

System Dynamics and Agent-Based Modeling applied to the study of depopulation: a systematic literature review

Highlights:

1. Depopulation is a systemic and self-reinforcing process.
2. System Dynamics and Agent-Based Modelling are well-suited for its study.
3. Many reviewed models omit the fundamental feedback loops of depopulation.
4. The "relational" dimension (social capital, community ties, sense of belonging) is

underrepresented in the models.

5. It is necessary to develop feedback-based models that integrate all relevant dimensions in greater detail.

Abstract: Depopulation is a global challenge with implications for the economy, public services and social cohesion. Therefore, it cannot be understood solely as a population deficit, but rather as a systemic and self-reinforcing process: the loss of inhabitants generates economic and essential service shortages, leading to further emigration. This systematic review analyses the academic literature that applies System Dynamics and Agent-Based Models to the study of depopulation, as both approaches allow these characteristic feedback loops to be represented explicitly. Thirty-one publications were classified according to categories such as geographical context, methodology, dimensions represented, drivers of population change, policies evaluated and main conclusions. The results show that only a minority of studies reflect these loops endogenously. This implies the need to advance in this line of research, increasing the level of detail of the interactions. Furthermore, the relational dimension is currently underrepresented, and its inclusion is an important way to improve the ability of models to simulate how community cohesion, social ties, and sense of belonging affect migration and residence decisions, thus providing better tools for the design of mitigation and management policies.

Keywords: Feedback loops, vicious circles, endogenous modelling, relational dimension, shrinking cities.

Recibido: 23 de noviembre de 2025
Devuelto para revisión: 10 de febrero de 2026
Aceptado: 27 de marzo de 2026

Cómo citar este artículo Llases, L., Mediavilla, J. (2026). Dinámica de sistemas y modelado basado en agentes aplicados al estudio de la despoblación: una revisión sistemática de la literatura. *AGER: Revista de Estudios sobre Despoblación y Desarrollo Rural (Journal of Depopulation and Rural Development Studies)*, (43), 227-279. <https://doi.org/10.4422/ager.2026.06>

Luis Llases. <https://orcid.org/0009-0000-9529-5152>

Correo electrónico: luis.llases@uva.es

Juanjo Mediavilla. <https://orcid.org/0000-0001-5638-4347>

Correo electrónico: juanjose.mediavilla@uva.es

1. Introducción

El fenómeno de la despoblación es un proceso sociodemográfico complejo cuya característica fundamental es la pérdida sostenida de habitantes en un territorio (Gutiérrez et al., 2020; Banco de España, 2021). Este proceso no es exclusivo de áreas rurales, sino que también se manifiesta en zonas urbanas, normalmente zonas industriales en recesión o ciudades pequeñas y medianas (Vidal & Recaño, 1986; Recaño, 2017). La despoblación es el resultado de combinar dos dinámicas principales: por un lado, la migración, tanto externa como interna, que drena a parte de la población, particularmente a los segmentos más jóvenes y cualificados; por otro, el envejecimiento demográfico, que conduce a un crecimiento vegetativo negativo (Coleman & Rowthorn, 2011).

Sin embargo, no debe entenderse la despoblación como un simple déficit de población, sino como un fenómeno sistémico en cuya evolución intervienen tanto factores externos o exógenos como factores internos o endógenos. Entre los primeros cabe señalar, como determinantes de primer orden, las transformaciones en el marco de las políticas macroeconómicas, la progresiva integración de los mercados a escala global, la irrupción de innovaciones tecnológicas disruptivas, o las estrategias de inversión y localización empresarial que se definen más allá del ámbito local (Liu et al., 2021). Estos factores configuran el contexto (las oportunidades y las restricciones) dentro del cual se desenvuelven las dinámicas internas del territorio.

En cuanto a los factores internos, el núcleo del proceso de despoblación reside en un bucle de retroalimentación por el cual la pérdida inicial de población conlleva una contracción de la actividad económica y una reducción de la oferta de servicios sociales esenciales (educación, sanidad, transporte, infraestructuras), lo que a su vez incentiva nuevas emigraciones y desincentiva la natalidad y la inmigración, profundizando así la espiral de declive (ESPON, 2018; Makkonen & Inkinen, 2023; Lloret et al., 2024). A esta serie de factores demográficos, económicos y de servicios e infraestructuras se suman otras dimensiones (también afectadas por el bucle de realimentación) igualmente determinantes para comprender la capacidad de respuesta y resiliencia de un territorio. Desde la perspectiva del desarrollo local, autores como Albuquerque (2001, 2007) han insistido en que la resiliencia de una comunidad se sustenta en la movilización de un conjunto de "capitales" territoriales. Entre ellos, además del capital económico, destaca el capital humano (la cualificación y el saber hacer de la población), el capital social (las redes de confianza, cooperación y concertación entre agentes públicos y privados), el capital institucional (la calidad y eficacia de las administraciones y normas locales), el capital cultural (el patrimonio, la identidad y el apego al territorio) y el capital natural (los recursos naturales y el paisaje). De todos ellos, el capital social resulta especialmente relevante, pues actúa como el engranaje que permite articular y movilizar a los restantes (Albuquerque, 2001, 2007; Pérez & Monago, 2005). Una comunidad con fuertes lazos sociales y capacidad de cooperación puede, por ejemplo, organizarse para mantener un servicio básico, atraer una inversión o acoger a nuevos pobladores, modulando así el impacto de las tendencias exógenas.

Por tanto, para poder combatir la despoblación se debe comprender tanto la estructura y la dinámica de los bucles de realimentación demográfico-económicos, como la forma en que estos interactúan con los distintos capitales endógenos y con el contexto exógeno, pues de ello depende el diseño de políticas públicas efectivas que permitan revertir o mitigar sus efectos (Navarro & Tapiador, 2019; Stèbe et al., 2024).

Dentro de la multiplicidad de metodologías que se han utilizado en el estudio de la despoblación está el uso de modelos computacionales, que a su vez se dividen en una amplia gama. Por ejemplo, los modelos econométricos y de regresión suelen examinar la relación entre los flujos migratorios y otra serie de variables (Reynaud & Miccoli, 2018; Alamá-Sabater et al., 2021; San-Martín & Soler-Vaya, 2024), mientras que los modelos cohorte-componente proyectan la población de acuerdo con supuestos de mortalidad, fecundidad y migración (Hauer, 2019; Hori et al., 2021). Además, enfoques como los sistemas de información geográfica o el análisis espacial, se utilizan para identificar

patrones abandono en las zonas analizadas y su relación con factores ambientales o de accesibilidad (Szymanowski & Latocha, 2021; Sahebgharani et al., 2024). Un último ejemplo es el de las técnicas de *machine learning*, que se han empleado para modelar el riesgo de despoblación en un territorio (Jato-Espino & Mayor-Vitoria, 2023).

La utilidad de estos enfoques para abordar aspectos particulares del problema o identificar factores correlacionados está fuera de toda duda. Su fortaleza reside, fundamentalmente, en la capacidad para analizar la influencia de determinados factores (ya sean exógenos o endógenos) y para establecer correlaciones estadísticas entre variables demográficas y socioeconómicas. Sin embargo, muchos de ellos adolecen de una limitación fundamental para captar la esencia del fenómeno: no son capaces de representar la inherente naturaleza circular de la despoblación. Aunque pueden incluir variables como la dotación de servicios o el nivel de renta, los modelos lineales o de carácter estático no están diseñados para representar de manera explícita y dinámica el bucle de retroalimentación clave que hemos definido arriba (a menos población, menos servicios y menos actividad económica; y a menos servicios y menos actividad económica, menos población) (ESPON, 2018; Navarro & Tapiador, 2019; Makkonen & Inkinen, 2023).

Pongamos un ejemplo: un modelo de regresión puede señalar la correlación entre la falta de servicios (factor endógeno) y la despoblación, pero no puede simular cómo la pérdida progresiva de estos servicios, impulsada por la misma disminución de habitantes que él contribuye a explicar, acelera el declive en el futuro. De esta incapacidad para captar la circularidad se deriva que su capacidad para explorar la trayectoria a largo plazo del sistema, o para evaluar el impacto de políticas que actúen sobre los mecanismos de retroalimentación del territorio, puede resultar limitada (Ibarra & Manuel, 2015).

Para superar esta limitación, los enfoques de modelado basados en la simulación de sistemas complejos, particularmente la Dinámica de Sistemas (DS) y los Modelos Basados en Agentes (MBA), se presentan como marcos metodológicos particularmente adecuados para capturar la naturaleza no lineal del fenómeno de la despoblación. La razón fundamental de esto reside en que ambos paradigmas están específicamente diseñados para representar, de forma nativa, los bucles de retroalimentación o *feedback loops*.

La DS ofrece un marco analítico que privilegia la visión agregada y estructural del fenómeno. Su foco principal reside en representar cómo se relacionan las variables a través de bucles de retroalimentación que operan a escala del sistema completo (Sterman, 2000). Un modelo construido bajo este paradigma permite, por ejemplo, trazar el siguiente encadenamiento: la salida de jóvenes reduce el contingente

poblacional en edad reproductiva, lo que a medio plazo se traduce en una caída de los nacimientos. Esta disminución acelera el envejecimiento medio y termina por erosionar la base de usuarios que sostiene servicios como los educativos, lo que a su vez refuerza la decisión de emigrar entre las familias con hijos. Cuando trasladamos este esquema a entornos rurales, la utilidad del enfoque se hace más patente, pues permite observar cómo la evolución demográfica no opera en un vacío, sino en estrecho acoplamiento con la economía, la ecología o el capital social del territorio.

Una ilustración reciente la proporcionan Dalla et al. (2024), quienes emplean DS para examinar el efecto combinado de las tendencias poblacionales y las normas de acceso a propiedades comunales (basadas en criterios de herencia) en los Alpes italianos. Sus simulaciones muestran cómo estos factores pueden poner en riesgo la continuidad de instituciones de gobernanza colectiva que durante siglos han sostenido la gestión de recursos en áreas de montaña. Este tipo de ejercicios permite explorar la evolución demográfica a horizontes temporales amplios y detectar umbrales a partir de los cuales la pérdida de población puede volverse irreversible (Navarro & Tapiador, 2019). De ahí que la DS se haya consolidado como una herramienta especialmente adecuada para evaluar políticas en territorios rurales, precisamente por su capacidad para integrar las estrechas interdependencias que allí se dan entre demografía, economía y medio biofísico (Vidal-Legaz et al., 2013).

Por su parte, los MBA abordan la cuestión desde una lógica ascendente o *bottom-up*. En lugar de operar con variables agregadas, simulan el comportamiento de entidades individuales (sean estas agricultores, hogares o jóvenes) y dejan que los patrones macro surjan como resultado de sus interacciones (Izquierdo et al., 2008). La retroalimentación, en este paradigma, no se programa directamente, sino que se da manera emergente: la decisión de emigrar que toma un agente se ve influida por el deterioro de los servicios en su localidad; cuando muchas decisiones individuales confluyen en la misma dirección, se produce una nueva contracción de esos servicios, que a su vez afectará a las decisiones de quienes permanecen o de potenciales nuevos residentes. Una de las ventajas más destacadas de los MBA reside en su capacidad para incorporar la heterogeneidad de los agentes. Edad, nivel de renta, preferencias personales o, de manera crucial, el grado de arraigo al lugar son dimensiones que pueden integrarse en la modelización. Esta adaptabilidad resulta especialmente valiosa cuando nos adentramos en el análisis de la despoblación rural.

El estudio de Zhang et al. (2025) constituye un buen ejemplo de ello. Mediante un MBA aplicado a aldeas de China, los autores muestran que el apego a la tierra puede generar dinámicas contraintuitivas: bajo ciertas condiciones, el retorno de migrantes llega

a ser más determinante que la propia emigración, e incluso puede frenar el abandono gracias a retroalimentaciones positivas que se activan al superar un umbral. Modelos de este tipo permiten visualizar cómo fenómenos como el abandono de parcelas o la emergencia de los llamados "pueblos huecos" no responden a una causalidad lineal, sino que brotan de la interacción entre las decisiones humanas y las condiciones del entorno. Por todo ello, los MBA ofrecen una vía particularmente rica para representar los mecanismos causales que operan en la despoblación de territorios rurales concretos, y para explorar cómo las especificidades locales modulan el impacto de tendencias más generales.

En resumen, mientras la DS se centra en la arquitectura de los bucles de retroalimentación del sistema, los MBA se centran en los mecanismos micro que generan dichos bucles. Ambos, sin embargo, comparten la capacidad de simular la evolución de las variables en el tiempo y de analizar cómo intervenciones políticas específicas (modificaciones en las variables de entrada) afectan al bienestar de la población y a la proyección demográfica del territorio.

Dada la idoneidad de la DS y del MBA para el estudio de la despoblación, este artículo busca sistematizar el conocimiento generado a partir de estos enfoques. Para ello, se realiza una clasificación de los modelos existentes a partir de una revisión sistemática de la literatura según un conjunto de características clave, que incluyen: 1) el contexto geográfico de aplicación, 2) la metodología utilizada (DS pura, MBA puro o híbrido), 3) el tema específico abordado y su relación con la despoblación, 4) las dimensiones representadas (demográfica, económica, medioambiental, etc.), 5) los drivers de la evolución de la población modelizados, 6) el tipo de políticas evaluadas y 7) las conclusiones obtenidas. Además, más allá del propio objetivo de sistematización, este trabajo sirve como base para identificar de manera crítica las carencias metodológicas y temáticas presentes en la literatura, y para proponer posibles medios para superarlas. Por ello, también se sugiere qué futuras investigaciones se podrían construir sobre las existentes y cómo los modelos podrían ser más útiles para la toma de decisiones políticas.

2. Metodología

Para identificar, clasificar y analizar la literatura científica sobre modelos de simulación aplicados al estudio de la despoblación, se realizó una revisión sistemática de

la literatura. Este enfoque metodológico se implementó para garantizar un proceso de búsqueda, selección y análisis transparente, reproducible y riguroso.

La estrategia de búsqueda se implementó en dos de las principales bases de datos bibliográficas: Scopus y Web of Science (WOS). La consulta se diseñó para capturar publicaciones que combinaran conceptos relacionados con la despoblación y las metodologías de modelado de sistemas complejos de interés. La sintaxis específica fue la siguiente:

Scopus: TITLE-ABS-KEY (depopulation OR "population decline" OR "shrinking population" OR "population loss" OR "demographic decline" OR "demographic shrinkage" OR "demographic collapse" OR "exodus") AND TITLE-ABS-KEY ("system dynamic*" OR "agent-based" OR "agent based" OR "multi-agent")

WOS: TS = ((depopulation OR "population decline" OR "shrinking population" OR "population loss" OR "demographic decline" OR "demographic shrinkage" OR "demographic collapse" OR exodus) AND ("system dynamic*" OR "agent-based" OR "agent based" OR "multi-agent"))

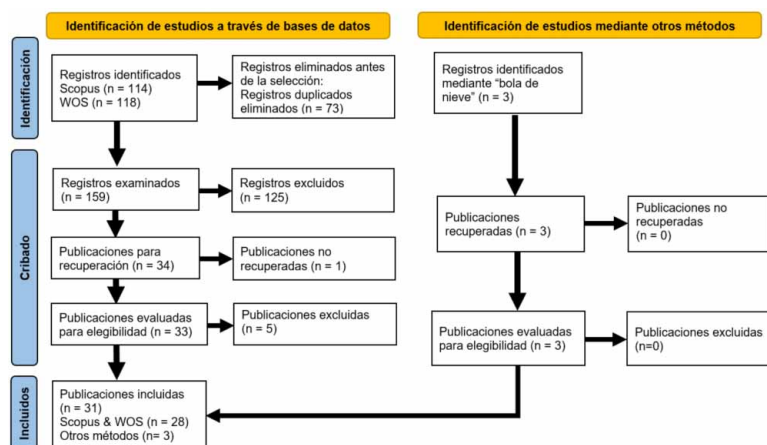
La búsqueda inicial, realizada por última vez el 16 de octubre de 2025, devolvió un total de 232 registros: 114 de Scopus y 118 de WOS. Se eliminaron 73 duplicados y se procedió a examinar los títulos y resúmenes de los 159 registros restantes. Después, se excluyeron 125 publicaciones por no ajustarse a los criterios de inclusión, que exigían que los trabajos presentaran un modelo de DS o un MBA cuyo fenómeno central de estudio estuviera relacionado la despoblación¹. Asimismo, se excluyeron aquellos trabajos idénticos a otros que ya estuviesen en la revisión, de los mismos autores y del mismo tema, pero publicados en distintos formatos (como una comunicación en un congreso y un artículo de revista académica). En estos casos, se aplicó el siguiente orden de prioridad para la inclusión: artículo de revista académica, libro o capítulo de libro, tesis doctoral y, por último, artículo de conferencia o comunicación.

1• Se han excluidos también artículos que utilizan la DS o los MBA para analizar el declive poblacional de sociedades pasadas (Whitmore, 1991; Cole & Flenley, 2008; Kohler et al., 2012). Estos análisis históricos, aunque valiosos, se descartaron al considerar que el fenómeno de la despoblación contemporánea es de naturaleza esencialmente diferente.

De los 34 artículos seleccionados para su recuperación, no fue posible acceder al texto completo de uno de ellos, quedando 33 publicaciones para el análisis. Tras la lectura completa de estos textos, se excluyeron cinco estudios 1) por no presentar un modelo computacional implementado y susceptible de llevar a cabo simulaciones², o 2) porque la relación con la despoblación no era suficiente³. Así, la base de la revisión quedó constituida por 31 publicaciones, de las cuales 28 procedían de la búsqueda en bases de datos y tres se identificaron mediante la técnica de "bola de nieve" (revisión de las listas de referencias de los artículos incluidos). El proceso completo de selección se resume en la Figura 1.

Figura 1.

Esquema del proceso de búsqueda y selección de publicaciones



Fuente: elaboración propia.

- 2• Algunas de las publicaciones excluidas por no presentar un modelo computacional implementado (Kwang-Ju Kim et al., 2010; Hossain et al., 2020; Ulman et al., 2020) pueden tener interés para quien lea este trabajo, ya que proponen marcos conceptuales adaptados a la dinámica de sistemas que ofrecen directrices para construir modelos orientados al estudio de la despoblación.
- 3• Se excluyeron trabajos que, aunque abordaban dinámicas demográficas como la movilidad residencial o los cambios en la estructura por edades, trataban la despoblación de manera meramente circunstancial: el declive demográfico aparecía mencionado como trasfondo o como una posibilidad entre otras, pero no constituía el objeto central de análisis ni se examinaban sus causas o consecuencias de forma sustantiva. Se optó por excluirlas para preservar la coherencia temática del corpus, centrado en estudios que contribuyen directamente a la comprensión de los procesos de pérdida de población.

Para sistematizar el análisis de la literatura seleccionada, hemos diseñado un marco de clasificación que permite caracterizar los modelos de simulación, centrándose tanto en su relación con el fenómeno de la despoblación como en sus aspectos fundamentales. Estas categorías son las siguientes:

- *Contexto Geográfico*, que se refiere al ámbito espacial en el que se aplica el modelo, específicamente: tipo de territorio (rural, urbano o ambos), escala del estudio (municipal, regional o nacional) y país y región específicos en los que se aplica y calibra el modelo. Esta información sirve para contextualizar los estudios, entender la especificidad de los modelos y evaluar la posibilidad de aplicación de los modelos a otros contextos.
- *Metodología*: enfoque de modelado utilizado en el estudio, distinguiendo entre DS, MBA o enfoques híbridos.
- *Tema y Relación con la Despoblación*: sintetiza el tema particular que trata el modelo y explica cómo se relaciona con el fenómeno de la despoblación.
- *Dimensiones Representadas*: enumera los subsistemas clave que el modelo incorpora de forma explícita (demografía, economía, medio ambiente, infraestructura y servicios, territorio, etc.).
- *Drivers de la Evolución de la Población*, que se refiere a las variables y mecanismos que, dentro del modelo, determinan los cambios en el tamaño, la estructura o la localización de la población. En este caso, prestaremos especial atención a si estos mecanismos son endógenos (resultado de las interacciones dentro del modelo) o exógenos (impuestos como entrada).
- *Políticas Evaluadas*, que servirá para identificar las intervenciones o escenarios de política pública que el modelo simula y evalúa.
- *Conclusiones Principales*: resumen de los hallazgos más relevantes derivados de las simulaciones que se han llevado a cabo con el modelo.

3. Resultados

La aplicación de las categorías anteriormente descritas a la base de revisión arrojó como resultado la Tabla 1 del Anexo que acompaña a este texto. En este apartado se resumen y sistematizan los hallazgos clave derivados de dicha tabla, ofreciendo una

visión de conjunto que permite identificar las características generales, tendencias temáticas, patrones metodológicos, políticas simuladas y conclusiones principales de la literatura revisada.

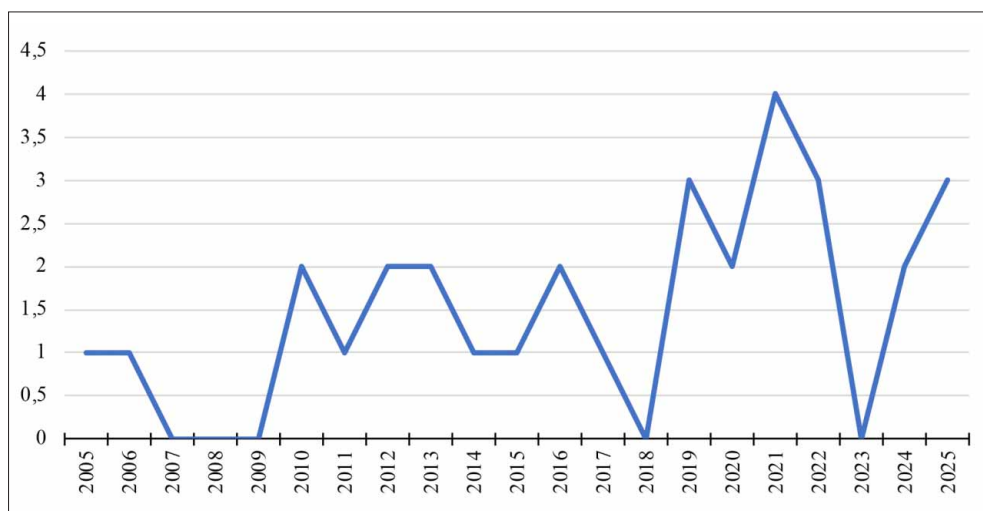
3.1. Características generales

Dentro de las características generales se han recogido diferentes aspectos de la literatura analizada, como la distribución temporal de las publicaciones, la metodología empleada, la localización geográfica de los casos de estudio, el ámbito territorial de aplicación (rural, urbano o mixto), la escala de análisis (municipal, regional o nacional) y las dimensiones temáticas representadas en los modelos. En primer lugar, para reflejar la distribución temporal, hemos elaborado la Figura 2, donde se puede observar una clara tendencia de crecimiento en el número de publicaciones desde hace dos décadas. Debemos buscar las causas de esto en dos factores principales. Por un lado, la creciente preocupación a nivel académico global por el propio objeto de estudio: los impactos socioeconómicos y territoriales de la despoblación, que coloca este como una prioridad en investigación, tanto teórica como aplicada. Por otro, la cada vez mayor generalización y accesibilidad del uso de metodologías de simulación como la DS y el MBA (programas informáticos, obras metodológicas, etc.) dentro de las ciencias sociales, situándose como herramientas adecuadas y capaces de capturar y analizar fenómenos complejos como este.

Aún con todo, también es necesario reconocer que el número total de publicaciones científicas anuales, con independencia de la temática, ha aumentado durante ese mismo período. No obstante, al comparar la velocidad de crecimiento de las publicaciones en general con la correspondiente a las del tema aquí analizado, se observa que estas últimas lo han hecho a un ritmo superior. Según datos de Scimago (2026), entre 2005 y 2024 el conjunto de las publicaciones científicas se ha multiplicado por dos, mientras que las relativas al objeto de este estudio (considerando la línea de tendencia y no solo los puntos inicial y final) lo han hecho por más de tres.

Figura 2.

Distribución anual (eje X) de la literatura revisada sobre modelos de SD y MBA aplicados al estudio de la despoblación (eje Y)



Fuente: elaboración propia

Por lo que respecta a la metodología empleada, el 56 % de los artículos utiliza la DS, mientras que el 46 % usa el MBA. Del total de los modelos revisados, hay cinco híbridos, es decir, que combinan la DS o el MBA entre sí o con otras metodologías de modelado. Estos son bastante heterogéneos entre sí. Faust et al. (2017) integran ambos enfoques para evaluar las interdependencias entre infraestructura hídrica y dinámicas poblacionales en ciudades en declive. Por su parte, Kikuchi et al. (2022, 2025) desarrollan modelos LUTI (*Land-use and transport interaction*) que incorporan módulos de DS para simular los efectos de políticas de ciudad compacta y teletrabajo sobre la localización residencial y las finanzas municipales. Li et al. (2025) acoplan un modelo de calidad del agua a la dinámica socioeconómica de una cuenca fluvial, combinando DS con modelos ambientales específicos. Finalmente, Tanaka et al. (2020) ofrecen un híbrido de simulación multi-agente con experimento de campo, utilizando una aplicación móvil para fomentar el capital social como estrategia contra la despoblación.

En lo que se refiere a la distribución geográfica de los estudios, se observa una concentración de la investigación en un conjunto específico de países. Japón (23 %), Alemania (13 %) y China (13 %) son los países que más aparecen en los casos de estudio, seguidos de Estados Unidos y España (6 % cada uno). Un 10 % de los modelos son puramente teóricos, sin una localización geográfica concreta, y el 29 % restante se distribuye entre otros países.

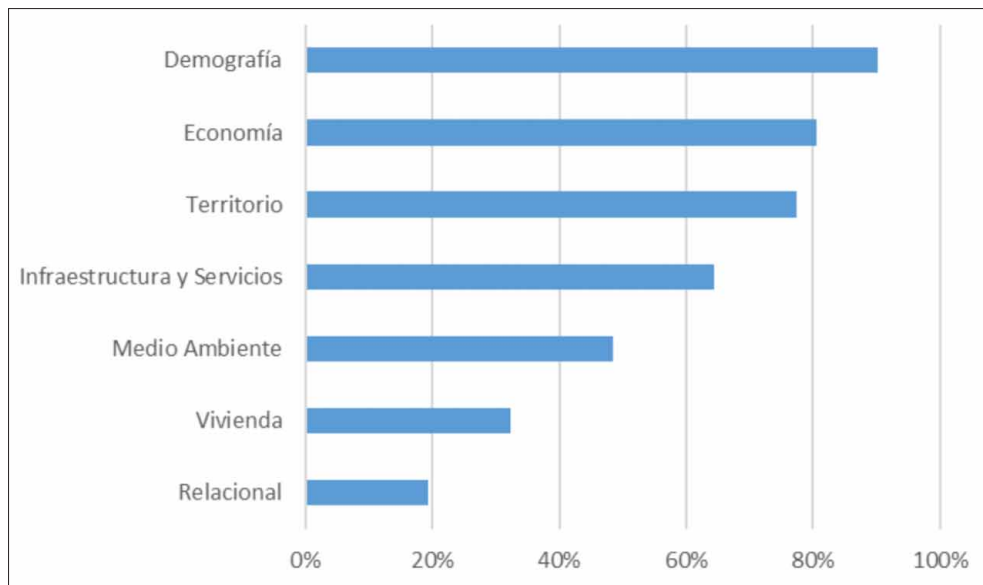
Respecto al ámbito territorial de aplicación, el análisis revela una distribución relativamente equilibrada entre estudios urbanos, rurales y mixtos, si bien con un peso algo mayor de los primeros. El 42 % de los modelos se centran en contextos urbanos, seguidos por los estudios rurales (29 %) y por los que analizan ambos entornos en un mismo trabajo (29 %).

En cuanto a la escala de análisis, se observa una clara preferencia por los estudios a nivel municipal (55 %) de las publicaciones revisadas. Le siguen en importancia los modelos de escala regional (29 %), mientras que aproximaciones nacionales (3 %) y las diseñadas para ser aplicables a varias escalas (13 %) son mucho menos frecuentes.

Finalmente, en lo concerniente a las dimensiones representadas, el análisis revela un patrón claro en el conjunto de la literatura revisada (Figura 3). La práctica totalidad de los modelos incorpora la dimensión demográfica (90 %), seguida muy de cerca por la económica (81 %) y la territorial (77 %). Con una presencia algo menor, aunque también mayoritaria, aparecen las dimensiones de infraestructura y servicios (65 %) y medioambiental (48 %). En el extremo opuesto, las dimensiones menos representadas son la vivienda (32 %) y, especialmente, la relacional (19 %), que apenas aparece en uno de cada cinco modelos pese a su relevancia teórica para capturar aspectos como el capital social, las redes comunitarias o el sentido de pertenencia.

Figura 3.

Porcentaje de modelos que incorporan cada dimensión analítica

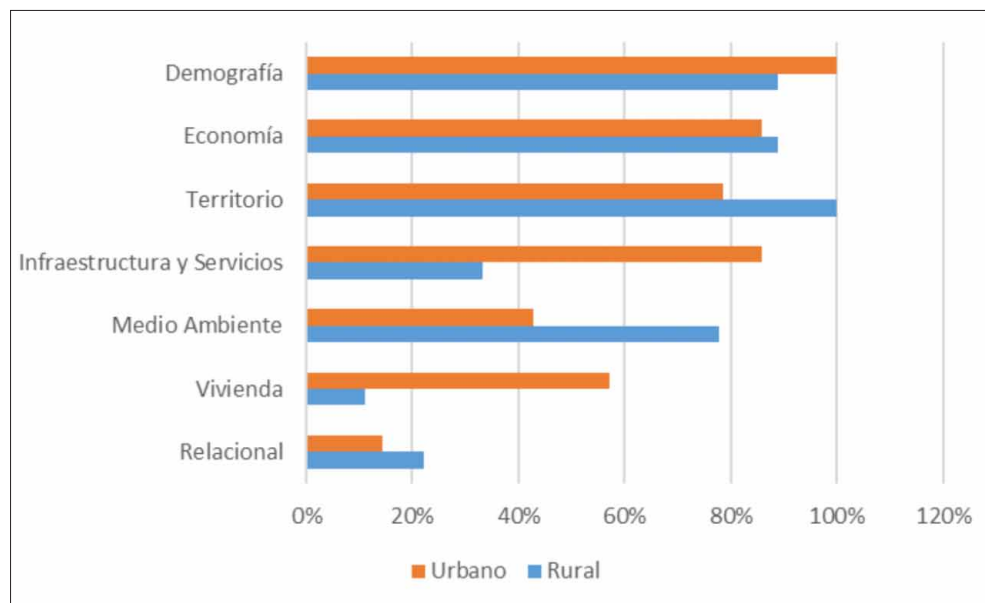


Fuente: elaboración propia

Esta caracterización general, sin embargo, presenta diferencias importantes cuando se distingue entre modelos aplicados a contextos rurales y urbanos (Figura 4). En los estudios sobre territorios rurales, la dimensión territorial alcanza el 100 % de los modelos, mientras que en los estudios sobre territorios urbanos se queda en el 79 %. Una pauta similar, aunque aún más acusada, se observa en la dimensión medio-ambiental, que está presente en el 78 % de los modelos rurales, pero solo en el 43 % de los urbanos. Por el contrario, las dimensiones asociadas a la planificación y los servicios muestran una relación inversa: infraestructura y servicios aparece en el 86 % de los modelos urbanos frente al 33 % de los rurales, mientras que la vivienda, prácticamente ausente en el ámbito rural (11 %), alcanza el 57 % en los estudios sobre ciudades.

Figura 4.

Dimensiones representadas en los modelos según su ámbito territorial



Fuente: elaboración propia.

3.2. Temáticas abordadas y drivers de la población

En cuanto a las temáticas abordadas, la revisión revela una diversidad de enfoques que pueden agruparse en dos categorías principales. Por un lado, están aquellos estudios que tienen a la despoblación como el núcleo central de su análisis, y que modelan sus causas y dinámicas intrínsecas, como los bucles de retroalimentación entre economía, migración y población (Kopainsky, 2005; Refsgaard & Johnson, 2010; Vidal-Legaz et al., 2013; Navarro & Tapiador, 2019; Zhang et al., 2025). Por otro lado, vemos un conjunto de investigaciones que analizan algún aspecto específico que se ve afectado por la despoblación, y aquí las temáticas son variadas, a saber: el impacto en la biodiversidad y el régimen de incendios (Santos et al., 2016), la gestión de residuos sólidos urbanos (Khrutba et al., 2021), la capacidad de respuesta ante desastres (Dressler et al., 2016) o la sostenibilidad de los sistemas de infraestructura hídrica (Faust et al., 2017).

No obstante, dentro de esta segunda categoría destaca un subgrupo numeroso y cohesionado: el de los estudios dedicados a la reorganización urbana de las *shrinking cities*, que podemos traducir como ciudades en contracción o ciudades en declive. Esta línea de investigación, particularmente prominente en el grupo de estudios japoneses y alemanes, se centra en los desafíos de planificación que surgen en núcleos urbanos que pierden población. Los modelos sobre esta temática suelen evaluar políticas de reformas del transporte público, redistribución de servicios, intervención en el mercado de la vivienda y estrategias de revitalización de centros urbanos, como en los trabajos de Schwarz & Haase (2010), Lauf et al. (2012), Pang et al. (2021) y Kikuchi et al. (2022, 2025), entre otros.

El análisis de los mecanismos que determinan la evolución de la población en los modelos revisados revela un patrón diferenciado según la temática estudiada. En los modelos donde la despoblación constituye el núcleo central del análisis, podemos observar una tendencia a modelizar las migraciones de forma endógena, que se vinculan a variables socioeconómicas como las oportunidades laborales, la disponibilidad de servicios o la calidad de vida. Por el contrario, las tasas de natalidad y mortalidad suelen tratarse como parámetros exógenos en la mayoría de estos modelos (Kopainsky, 2005; Refsgaard & Johnson, 2010; Vidal-Legaz et al., 2013; Navarro & Tapiador, 2019; Zhang et al., 2025). Una excepción a esto es el trabajo de Li et al. (2025), donde tanto la fecundidad como la mortalidad son endógenas (la primera depende del PIB per cápita y el grado de urbanización, y la segunda, del PIB per cápita, la producción de grano, el consumo de energía y la contaminación del agua). Sin embargo, como simplificación, este modelo no incorpora los flujos migratorios.

Por su parte, en los estudios donde la despoblación actúa principalmente como una causa de las consecuencias analizadas (la gestión de residuos o desastres), la modelización de la dinámica poblacional es más sencilla. En estos casos, es frecuente que las variables demográficas (natalidad, mortalidad y migración) se definan de forma exógena (Khrutba et al., 2021; Homutiņins et al., 2024; Luo et al., 2024), o incluso que la propia población total sea un input directo del modelo definido por escenarios, como en los trabajos de Yang (2019) y Lazar et al. (2022).

Un caso particular lo constituyen los modelos del subgrupo de "ciudades en contracción" que hemos definido arriba. Como en los anteriores, la población total generalmente se determina mediante tasas exógenas de natalidad, mortalidad y migración, o se define directamente mediante escenarios. Sin embargo, en estos modelos

la localización de la población dentro del espacio urbano suele representarse de forma endógena, pues se trata del interés central de la investigación. Estos modelos simulan las estrategias de los hogares a la hora de elegir el lugar residencia, y lo hacen en función de variables como el mercado de la vivienda, la accesibilidad a servicios y las características del vecindario. Este es el caso de los estudios de Lauf et al. (2012), Schwarz & Haase (2010), Schwarz et al. (2012) y Kikuchi et al. (2022, 2025). De esta manera se logra analizar los patrones espaciales del declive urbano, como la aparición de vacíos urbanos o la polarización socioeconómica, sin tener que modelar explícitamente los determinantes a nivel macro del declive poblacional total.

3.3. Políticas simuladas

El análisis de las políticas evaluadas en los modelos de nuestra revisión revela un amplio espectro de intervenciones, que podemos agrupar en varias categorías estratégicas que muestran elementos comunes según sea su contexto rural o urbano. En los contextos rurales, las políticas, en general, están orientadas a reactivar la economía local y mejorar la calidad de vida con el fin de contener los procesos de emigración. Para evaluar su eficacia, se simulan diversas estrategias. Kopainsky (2005) analiza políticas de estímulo económico directo, como subsidios a la inversión, modificaciones en las tasas de interés y apoyo al emprendimiento. En la misma línea, Figueiredo & Pereira (2011) examinan el impacto de subsidios agrícolas, mientras que Refsgaard y Johnson (2010) evalúan escenarios políticos en los que se redirigen estos fondos hacia la diversificación económica, el turismo y el apoyo a las PYMEs. Santos et al. (2016) incorporan en su modelo la dimensión ambiental a través de políticas de gestión forestal, mientras que Tenza et al. (2019) amplían el espectro y consideran, además de políticas agrícolas, otras como el mantenimiento de los servicios sociales públicos y sus efectos finales en el desarrollo.

Por su parte, los modelos centrados en ciudades en contracción se orientan hacia la adaptación y la gestión del declive, más que a su posible reversión. Una política reseñable de las que se simulan en este subgrupo es la de "ciudad compacta", evaluada en el estudio de Kikuchi et al. (2022). Lo que se busca en este caso es concentrar la población y los servicios para mejorar la eficiencia de las infraestructuras y los servicios públicos en un contexto de población decreciente. Como estrategias complementarias encontramos la reconfiguración de la infraestructura obsoleta o infrautilizada, como la demolición de viviendas vacantes (Schwarz et al., 2012) o la reestructuración de sistemas

hídricos (Faust et al., 2017). La reforma del transporte público para adaptarse a una población menor y más envejecida es otra de las líneas de acción que podemos ver en la literatura revisada (Kii et al., 2021).

Por último, se observan políticas más innovadoras (y más difíciles de capturar en modelos) que abordan dimensiones no económicas, como el capital social. El modelo de Tanaka et al. (2020) propone incentivar las relaciones interpersonales mediante una aplicación móvil, una estrategia novedosa que tiene como objetivo fortalecer el tejido comunitario en poblaciones envejecidas y en declive.

3.4. Conclusiones obtenidas en la literatura

Como ocurría en algunas de las categorías anteriores, en las conclusiones de los trabajos analizados existe bastante diversidad. A pesar de ello, podemos sintetizar los hallazgos más importantes basándonos en elementos transversales. Estos hallazgos conectan directamente con conceptos fundamentales de la ciencia de la resiliencia, como umbrales, estados alternativos, histéresis o transformación, lo que permite interpretar la despoblación desde este marco analítico.

Así, podemos establecer un primer grupo de contribuciones que centra sus conclusiones en la identificación de dinámicas sistémicas y umbrales críticos. Esto ocurre particularmente en aquellos modelos basados en DS, que demuestran la existencia de puntos a partir de los cuales el sistema transita hacia un estado alternativo estable de declive consolidado. El concepto de "masa crítica" identificado por Navarro y Tapiador (2019), por debajo de la cual la pérdida de servicios esenciales hace irreversible la despoblación, constituye un ejemplo paradigmático de punto de inflexión. Del mismo modo, modelos como el de Figueiredo y Pereira (2011) señalan fenómenos de histéresis, donde la despoblación rural, una vez iniciada, se autoperpetúa debido a cambios ecológicos (como la regeneración del bosque) que reducen el atractivo productivo de la tierra y dificultan enormemente la reversión del proceso. Este hallazgo ilustra la dependencia de la trayectoria característica de los sistemas que han superado su capacidad de resistencia y han entrado en una nueva configuración. Frente a estas dinámicas, algunas de las estrategias de adaptación al declive simuladas en los modelos (como la ciudad compacta o la reorganización de servicios) pueden interpretarse como respuestas de transformación

que, lejos de resistir el cambio o intentar retornar al estado anterior, buscan reconfigurar el sistema para mantener su funcionalidad con menos población.

En segundo lugar, existen en la literatura analizada una serie de principios estratégicos para la intervención política. En trabajos como los de Kopainsky (2005), Krushel et al. (2014) y Márton (2022) se observa la importancia que tiene el *timing* de las políticas simuladas. La efectividad de las intervenciones disminuye cuando el sistema supera un cierto nivel de deterioro (esto es, cuando se han cruzado ya umbrales críticos), lo que pone de manifiesto la necesidad de una acción política temprana para reforzar la resiliencia del territorio (entendida como su capacidad para absorber perturbaciones y mantener su estructura y funciones) antes de que el declive se consolide. Además de esto, se coincide, en general, en que las políticas aisladas suelen ser insuficientes. La conclusión de Refsgaard y Johnson (2010) sobre la necesidad de políticas integradas que aborden simultáneamente la economía, la calidad de vida y el medio ambiente, y el análisis de políticas que realizan Misuk et al. (2020), que incluye inversiones en industria, transporte, seguridad y medio ambiente, evidencian que la comprensión de la despoblación debe hacerse como un problema multicausal que, por tanto, exige soluciones sinérgicas entre sus elementos.

4. *Discusión y orientaciones futuras*

Los resultados presentados invitan a una reflexión que trasciende la mera exposición descriptiva y permite conectar los hallazgos con las particularidades del fenómeno de la despoblación. En primer lugar, en cuanto a la escala de análisis, se observa una clara preferencia por los estudios a nivel municipal, lo que subraya el enfoque en escalas geográficas pequeñas. Esta preferencia es consistente con el hecho de que los efectos del declive poblacional (como la pérdida de servicios esenciales o el deterioro de infraestructuras) se manifiestan más acusadamente a nivel local, y es a esa escala donde suelen implementarse las políticas de intervención (Collantes & Pinilla, 2020; Coghe, 2022). Este enfoque “de abajo arriba” permite capturar la heterogeneidad del fenómeno y diseñar respuestas más ajustadas a las realidades específicas (Andrés, 2024), aunque plantea el reto de escalar o comparar resultados entre distintos municipios y regiones.

Esta opción por la escala municipal se complementa con el análisis del ámbito territorial de aplicación. La distribución relativamente equilibrada entre estudios urbanos, rurales y mixtos refleja que la despoblación es un desafío que atañe tanto a lo rural como a lo urbano, afectando no solo a pueblos, sino también a ciudades que experimentan pérdida de actividad económica, envejecimiento y reducción de población. La significativa presencia de estudios mixtos evidencia, además, una creciente búsqueda de comprensión interrelacionada de ambos contextos, un acierto metodológico dado que las dinámicas migratorias y socioeconómicas de un ámbito impactan directamente en el otro.

Por otro lado, la distribución geográfica de los estudios no es aleatoria, sino que refleja, en cierta medida, la propia geografía del problema. La literatura revisada se concentra en países con economías desarrolladas que, con matices, enfrentan desafíos demográficos significativos. Los casos de Japón y Alemania son paradigmáticos de sociedades con un envejecimiento rápido (Fujita & Thisse, 1996; Matanle, 2014; Hagihara & Hagihara, 2016); China hace frente a las consecuencias de su política de hijo único y a la migración masiva del campo a la ciudad (Andris et al., 2011; Siciliano, 2012); y Estados Unidos y España son países con marcados desequilibrios territoriales (Merritt, 1995; Viñuela, 2022). No obstante, esta concentración debe ser interpretada con cautela, pues territorios con procesos de despoblación igualmente intensos están ausentes en la revisión. Es el caso de países del sur y este de Europa como Italia, Grecia, Bulgaria, Lituania y Estonia, todos ellos con regiones que sufren un acusado declive demográfico (Berzins & Zvidrins, 2011; Mladenov & Ilieva, 2012; Reynaud & Miccoli, 2018; Papadopoulos & Baltas, 2023). Esta ausencia señala una limitación del corpus actual y abre una vía para futuras investigaciones que apliquen estos enfoques en contextos geográficos diversos, permitiendo contrastar la transferibilidad de los hallazgos y enriquecer la comprensión del fenómeno con nuevas casuísticas. Cabe destacar, además, la práctica ausencia de estudios comparativos que analicen simultáneamente las dinámicas de despoblación en distintos países o regiones, una línea de trabajo que también merece ser explorada en el futuro.

Más allá de estas consideraciones sobre la cobertura geográfica y temática de los modelos, el análisis una limitación metodológica fundamental, la cual podemos observar en una buena parte de la literatura revisada. Contrariamente a lo esperable en este tipo de enfoques, diseñados para capturar bucles de retroalimentación, una proporción considerable de modelos no representa de forma endógena el núcleo del *feedback* de

despoblación, que vincula la pérdida de población con la contracción económica y de servicios, generando así nueva pérdida de población. En estos casos, en vez de ser resultado de las dinámicas internas del sistema, la evolución de la población total se trata como un factor exógeno, definido de antemano en los escenarios de simulación.

Esta aproximación resulta adecuada para aquellos estudios que no se centran en la despoblación *per se*, sino en el análisis de sus consecuencias o en aspectos específicos. Por ejemplo, modelos como los de Dressler et al. (2016) sobre gestión de desastres, Khrutba et al. (2021) sobre residuos sólidos urbanos, o Faust et al. (2017) sobre infraestructura hídrica, asumen escenarios de declive demográfico para estudiar cómo estos sistemas se degradan o deben adaptarse bajo estrés poblacional. Lo mismo ocurre con los modelos dedicados al estudio de las *shrinking cities* (Schwarz & Haase, 2010; Lauf et al., 2012; Kikuchi et al., 2022, 2025), que solo endogeneizan la localización de la población, mientras que la dinámica demográfica total sigue siendo exógena, y analizan los efectos de esta dinámica sobre otras variables.

Sin embargo, si el objetivo es comprender y revertir las causas profundas del declive demográfico, esta externalización del principal impulsor del sistema es una carencia crítica, pues se infrautiliza la capacidad de la DS y el MBA. Su valor fundamental se materializa en aquellos modelos que logran endogeneizar la realimentación y modelan explícitamente cómo las variables socioeconómicas, ambientales, y la provisión de servicios públicos influyen en las decisiones demográficas, y después viceversa. En este grupo, aun siendo pequeño con respecto al total, se encuadran varias publicaciones (Kopainsky, 2005; Refsgaard & Johnson, 2010; Vidal-Legaz et al., 2013; Krushel et al., 2014; Navarro & Tapiador, 2019; Tenza et al., 2019; Misuk et al., 2020; Li et al., 2025).

Entre estas podemos encontrar bastante heterogeneidad en los trabajos y diferencias en su nivel de detalle. Algunos estudios se centran en lo económico y exploran la interdependencia entre la dinámica demográfica y las variables de producción, empleo o renta (Kopainsky, 2005; Krushel et al., 2014). Navarro & Tapiador (2019) amplían esta perspectiva e incorporan la relación entre población, economía y provisión de servicios sociales, destacando cómo la disponibilidad de estos últimos influye en las decisiones de residencia y migración. Finalmente, otros trabajos introducen además la dimensión medioambiental y la territorial, y en la mayoría de los casos mantienen la representación explícita de los servicios sociales (Vidal-Legaz et al., 2013; Tenza et al., 2019; Misuk et al., 2020; Li et al., 2025).

En estos modelos es fundamental asegurar una representación adecuada de todas las dimensiones relevantes del sistema. Cuando alguna de ellas se omite o se simplifica en exceso, se corre el riesgo de distorsionar la dinámica global del modelo: por un lado, se pueden sobreestimar los efectos de las variables que sí se han incluido, y por otro, se puede asumir implícitamente la constancia de factores que en realidad son endógenos y están sujetos a la influencia directa o indirecta de la evolución poblacional. En este sentido, merece destacarse el esfuerzo realizado en trabajos como Vidal-Legaz et al. (2013), Tenza et al. (2019) y Misuk et al. (2020), donde se integran de manera explícita múltiples dimensiones, ofreciendo una representación más completa del fenómeno. Una línea general de avance para este tipo de modelos consiste precisamente en profundizar en el nivel de detalle y en el grado de interconexión con que se plasman estas dimensiones, de modo que se capture con mayor realismo la complejidad estructural y las interdependencias del sistema que subyace a los procesos de despoblación.

Además, dado que el problema de la despoblación está estrechamente conectado con las características específicas del territorio en que se manifiesta (Syssner, 2020), los modelos deben esforzarse por incorporar en sus simulaciones dichas particularidades y evitar de este modo imponer marcos analíticos uniformes a realidades profundamente heterogéneas. Esta necesidad se hace evidente al comparar entornos urbanos y rurales, cuyas dinámicas demográficas, económicas y sociales responden a lógicas diferentes (Alamá-Sabater et al., 2021; Newsham & Rowe, 2023; Deimantas et al., 2024). No obstante, dentro de cada uno de estos grandes grupos también podemos observar contrastes significativos: las causas y consecuencias de la despoblación no son las mismas en una zona agrícola (Faße et al., 2014; Quaranta et al., 2020) que en una región costera (Bertoldi et al., 2019; Alamá-Sabater et al., 2021), ni en un área turística (Núñez & Goycoolea, 2024) u otra con cierto grado de desarrollo industrial (Grundel & Magnusson, 2023; Sahebgharani et al., 2024). Reconocer y representar esta diversidad territorial constituye un requisito fundamental y permite avanzar hacia modelos que reflejen con mayor precisión las condiciones estructurales y los procesos específicos que determinan la evolución demográfica de cada territorio.

Siguiendo esto, la atención a las características particulares de cada territorio no puede limitarse a sus dimensiones físicas, económicas o productivas. Resulta igualmente importante incorporar en el estudio de la despoblación (y, por tanto, en los modelos que pretenden representarla) las dimensiones culturales, relacionales y de capital social que configuran la vida comunitaria (Pinilla & Sáez, 2021). El análisis de las dimensiones

representadas (Figuras 3 y 4 del epígrafe 3.1) revela, como hemos visto, una deficiencia relevante en este sentido. La dimensión relacional abarca elementos como el capital social, las redes de apoyo familiar y comunitario, las relaciones afectivas con el territorio y los factores culturales que dan forma al sentido de pertenencia. Aunque la literatura de tipo más cualitativo ha reiterado su papel como pilar fundamental de la resiliencia comunitaria frente al declive demográfico (Tebboth et al., 2019; Pinilla & Sáez, 2021), en los modelos de simulación, cuantitativos, su tratamiento sigue siendo marginal y, en el mejor de los casos, excesivamente simplificado.

Esta infrarrepresentación de la dimensión relacional puede deberse a múltiples factores. En primer lugar, conceptos como el capital social, el apego al territorio o las redes comunitarias presentan una dificultad inherente para su cuantificación, al carecer de unidades de medida estandarizadas y de series de datos oficiales que permitan su calibración. A ello se suma la complejidad de formalizar los mecanismos subyacentes: no se trata de añadir una variable estática, sino de representar procesos dinámicos como la generación de confianza, la transmisión de normas sociales o la erosión de los lazos comunitarios. Esta tarea requiere un bagaje teórico y metodológico que no siempre está presente en equipos de modelado tradicionalmente formados en disciplinas como la economía o la geografía cuantitativa, donde lo relacional ha sido secundario. Por último, la propia inercia de la literatura (que tiende a replicar enfoques previos) y la escasez de datos empíricos adecuados para la validación refuerzan esta omisión, perpetuando un sesgo hacia lo estrictamente material y cuantificable.

En cualquier caso, abordar esta carencia supondría un salto cualitativo, pues no se trataría únicamente de añadir nuevas variables, sino de dotar a los modelos de mecanismos capaces de representar cómo se generan, sostienen o erosionan las relaciones sociales, para averiguar cómo influyen en las decisiones individuales y colectivas. En los MBA, esto implicaría introducir pautas de comportamiento en las que la decisión de migrar no dependa exclusivamente de factores económicos, sino también por la intensidad de los lazos familiares, la participación en redes sociales locales o el capital afectivo y cultural que incrementa el coste emocional de abandonar el territorio. En los modelos de DS, supondría identificar y formalizar los bucles de retroalimentación entre la dinámica poblacional, la vitalidad asociativa y la existencia de cuidados informales, así como su efecto sobre la retención de población o la atracción de nuevos residentes. Es difícil, pero no imposible.

Integrar de forma más robusta la dimensión relacional permitiría avanzar hacia modelos capaces de explorar el impacto de políticas centradas en el fortalecimiento del

tejido social, más allá de las intervenciones puramente económicas o infraestructurales. En última instancia, posibilitaría simular no solo la economía de un territorio, sino también su entramado social y simbólico, que a menudo constituye un antídoto decisivo frente a los procesos de despoblación.

5. Conclusión

Una revisión de la literatura como la que hemos hecho permite cartografiar y analizar el corpus de investigación que emplea la DS y los MBA para el estudio de la despoblación. Queda claro que este tipo de enfoques analíticos son más que adecuados para abordar la complejidad inherente a un fenómeno que, como decíamos al principio, no debemos entender únicamente como un déficit de población, sino como un proceso sistémico que se retroalimenta, que consolida un círculo vicioso de declive. La principal contribución de nuestro trabajo reside en la clasificación sistemática de los modelos existentes, lo que nos ha posibilitado identificar tendencias, consolidaciones temáticas y, más importante, carencias que abren el camino para la investigación futura.

Para la clasificación de los modelos se emplearon categorías que contemplan el contexto geográfico, la metodología utilizada (DS, MBA o enfoques híbridos), las dimensiones representadas (demográfica, económica, medioambiental, territorial, social, etc.), los drivers de la evolución poblacional, las políticas evaluadas y las conclusiones principales de cada estudio. Esto nos ha permitido comparar los modelos y detectar qué aspectos del fenómeno de la despoblación se abordan de forma más completa y cuáles permanecen insuficientemente representados.

Uno de los principales hallazgos de nuestra revisión ha sido que solo una pequeña parte de las publicaciones modeliza de manera endógena la realimentación fundamental del proceso de despoblación, es decir, cómo la interacción entre pérdida de población, contracción económica y reducción de servicios profundiza el deterioro demográfico. Las investigaciones que sí incorporan esta realimentación constituyen una línea prometedora, y continuar desarrollando este enfoque representa una vía fructífera para avanzar en la comprensión y gestión de la despoblación.

Para que los modelos resulten realmente útiles es importante que incorporen de manera completa todas las dimensiones relevantes del sistema, pues de ese modo se logrará captar la complejidad estructural de la despoblación, considerando no solo factores económicos o demográficos, sino también aquellos relacionados con el territorio, el medio ambiente y la vida comunitaria. Además, estos modelos deben adaptarse a las características específicas del territorio en que se aplican, pues la naturaleza de las dinámicas de despoblación varía significativamente según las idiosincrasias de cada zona.

Por último, esta revisión evidencia que la dimensión relacional y cultural sigue estando infrarrepresentada en la literatura de simulación. Aunque es una tarea compleja, incorporar esta perspectiva en futuros modelos permitiría evaluar posibles políticas orientadas al fortalecimiento del tejido social y cultural, más allá de las intervenciones económicas o infraestructurales.

6. Financiación

Este artículo ha sido desarrollado en el marco del proyecto SPANDAM, financiado por la Agencia Estatal de Investigación (AEI) y el Ministerio de Ciencia e Innovación, con el número de contrato PLEC2021-008041.

7. Referencias⁴

Alamá-Sabater, L., Budí, V., Roig-Tierno, N., & García-Álvarez-Coque, J. M. (2021). Drivers of depopulation and spatial interdependence in a regional context. *Cities*, (114), 103217. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103217>

4• Se ha añadido un asterisco a las referencias específicas de la revisión sistemática.

- Alburquerque, F. (2001). Desarrollo económico local y cooperación descentralizada para el desarrollo. En F. Alburquerque (ed.), *Desarrollar lo local para una globalización alternativa* (pp. 2-14). HEGOA. Recuperado de:
https://biblioteca.hegoa.ehu.es/downloads/11209/%2Fsystem%2Fpdf%2F335%2FDesarrollar_lo_local_para_una_globalizacion_alternativa.pdf
- Alburquerque, F. (2007). Teoría y práctica del enfoque del desarrollo local. *OIDLES Observatorio Iberoamericano del Desarrollo Local y la Economía Social*, 1(1), 1-24. Recuperado de:
<https://desarrolloyeconomiasocial.com/index.php/oidles/article/view/576/788>
- Andrés, S. (2024). España vacía, España vaciada: Las dimensiones de identidad y simbólicas de las regiones periféricas. Un marco territorial. *Papeles del CEIC*, 2024(1). <https://doi.org/10.1387/pceic.25988>
- Andris, C., Halverson, S., & Hardisty, F. (2011). Predicting migration system dynamics with conditional and posterior probabilities. *ICSDM 2011 - Proceedings 2011 IEEE International Conference on Spatial Data Mining and Geographical Knowledge Services*, 192-197. <https://doi.org/10.1109/ICSDM.2011.5969030>
- Banco de España (2021). *Informe Anual 2020*. Banco de España.
- Bertoldi, S., Castiglia, G., & Castorao Barba, A. (2019). A Multi-scalar Approach to Long-Term Dynamics, Spatial Relations and Economic Networks of Roman Secondary Settlements in Italy and the Ombrone Valley System (Southern Tuscany): Towards a Model? En P. Verhagen, J. Joyce, & M. R. Groenhuijzen (Eds.), *Finding the Limits of the Limes* (pp. 191-214). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04576-0_10
- Berzins, A., & Zvidrins, P. (2011). Depopulation in the Baltic states. *Lithuanian Journal of Statistics*, 50(1), 39-48.
- Coghe, S. (2022). Sleeping Sickness, Depopulation Anxieties and the Emergence of Population Politics. En S. Coghe (ed.), *Population Politics in the Tropics: Demography, Health and Transimperialism in Colonial Angola* (pp. 28-64). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108943307>
- Cole, A., & Flenley, J. (2008). Modelling human population change on Easter Island far-from-equilibrium. *Quaternary International*, 184(1), 150-165. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2007.09.019>
- Coleman, D., & Rowthorn, R. (2011). Who's Afraid of Population Decline? A Critical Examination of Its Consequences. *Population & Development Review*, (37), 217-248. <https://doi.org/10.1111/j.1728-4457.2011.00385.x>
- Collantes, F., & Pinilla, V. (2020). La verdadera historia de la despoblación de la España rural y cómo puede ayudarnos a mejorar nuestras políticas. *AEHE, Asociación Española de Historia Económica*, (20), 1-22. Recuperado de: https://fernandocollantes.es/wp-content/uploads/2025/11/La-verdadera-historia-de-la-despoblacion_DT.pdf

- Dalla, C., Scolozzi, R., Ravazzoli, E., & Gatto, P. (2024). Endangered Commons? Modeling the Effects of Demographic Trends Coupled with Admission Rules to Common Property Institutions. *Land*, 13(10), 1704. <https://doi.org/10.3390/land13101704>
- Deimantas, V. J., anlıtürk, A. E., Azzollini, L., & Köksal, S. (2024). Population Dynamics and Policies in Europe: Analysis of Population Resilience at the Subnational and National Levels. *Population Research and Policy Review*, 43(2), 27. <https://doi.org/10.1007/s11113-024-09871-w>
- *Dressler, G., Müller, B., Frank, K., & Kuhlicke, C. (2016). Towards thresholds of disaster management performance under demographic change: Exploring functional relationships using agent-based modeling. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(10), 2287-2301. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-2287-2016>
- ESPON (2018). *Transnational Observation. Fighting rural depopulation in Southern Europe Inspire Policy Making with Territorial Evidence*.
- Faße, A., Winter, E., & Grote, U. (2014). Bioenergy and rural development: The role of agroforestry in a Tanzanian village economy. *Ecological Economics*, (106), 155-166. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.07.018>
- *Faust, K. M., Abraham, D. M., & DeLaurentis, D. (2017). Coupled Human and Water Infrastructure Systems Sector Interdependencies: Framework Evaluating the Impact of Cities Experiencing Urban Decline. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143(8). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000794](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000794)
- *Figueiredo, J., & Pereira, H. M. (2011). Regime shifts in a socio-ecological model of farmland abandonment. *Landscape Ecology*, 26(5), 737-749. <https://doi.org/10.1007/s10980-011-9605-3>
- Fujita, M., & Thisse, J.-F. (1996). Economics of Agglomeration. *Journal of the Japanese and International Economies*, 10(4), 339-378. <https://doi.org/10.1006/jjie.1996.0021>
- Grundel, I., & Magnusson, D. (2023). Planning to grow, planning to rock on – infrastructure management and development in shrinking municipalities. *European Planning Studies*, 31(6), 1184-1202. <https://doi.org/10.1080/09654313.2022.2108311>
- Gutiérrez, E., Moral-Benito, E., Oto-Peralías, D., & Ramos, R. (2020). The spatial distribution of population in Spain: An anomaly in European perspective. *Documento de Trabajo. Banco de España*, (2028), 1-38. Recuperado de: <https://www.bde.es/f/webbde/SES/Secciones/Publicaciones/PublicacionesSeriadas/DocumentosTrabajo/20/Files/dt2028e.pdf>
- Hagihara, K., & Hagihara, Y. (2016). The Depopulation Problem. En K. Hagihara, & C. Asahi (Eds.), *Coping with Regional Vulnerability* (pp. 45-63). Springer Japan. https://link.springer.com/10.1007/978-4-431-55169-0_3

- Hauer, M. E. (2019). Population projections for U.S. counties by age, sex, and race controlled to shared socioeconomic pathway. *Scientific Data*, 6(1), 190005. <https://doi.org/10.1038/sdata.2019.5>
- *Homuti ins, A., Šipilova, V., & Aleksejeva, L. (2024). Human Capital at the Regional Level: Population Forecast Insights into Latvia from a Long-Term Perspective. *Academic Journal of Interdisciplinary Studies*, 13(3), 32-32. (RC:156160815_S24). <https://doi.org/10.36941/ajis-2024-0063>
- Hori, K., Saito, O., Hashimoto, S., Matsui, T., Akter, R., & Takeuchi, K. (2021). Projecting population distribution under depopulation conditions in Japan: Scenario analysis for future socio-ecological systems. *Sustainability Science*, 16(1), 295-311. <https://doi.org/10.1007/s11625-020-00835-5>
- Hossain, M. S., Ramirez, J. A., Haisch, T., Speranza, C. I., Martius, O., Mayer, H., & Keiler, M. (2020). A coupled human and landscape conceptual model of risk and resilience in Swiss Alpine communities. *Science of the total environment*, (730). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138322>
- Ibarra, D. W., & Manuel, J. (2015). Dinámica de Sistemas, una herramienta para la educación ambiental en ingeniería. *Luna Azul*, (41), 152-164. <https://doi.org/10.17151/luaz.2015.41.9>
- Izquierdo, L. R., Galán, J. M., Santos, J. I., & Del Olmo, R. (2008). Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas. *EMPIRIA. Revista de Metodología de las Ciencias Sociales*, (16), 85-112.
- Jato-Espino, D., & Mayor-Vitoria, F. (2023). A statistical and machine learning methodology to model rural depopulation risk and explore its attenuation through agricultural land use management. *Applied Geography*, (152), 102870. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2023.102870>
- *Khrutba, V., Morozova, T., Patseva, I., & Shamrai, V. (2021). Simulation modeling for predicting the formation of municipal waste: 1265 AISC. En S. Shkarlet, A. Morozov, & A. Palagin, (eds.), *Mathematical Modeling and Simulation of Systems (MODS'2020)* (pp. 24-35). Springer Science and Business Media Deutschland. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58124-4_3
- *Kii, M., Goda, Y., Tamaki, T., & Suzuki, T. (2021). Evaluating Public Transit Reforms for Shrinking and Aging Populations: The Case of Takamatsu, Japan. *Future transportation*, 1(3), 486-504. <https://doi.org/10.3390/futuretransp1030026>
- *Kikuchi, H., Emberger, G., Ishida, H., Fukuda, A., & Kobayakawa, S. (2022). Dynamic simulations of compact city development to counter future population decline. *CITIES*, (127). <https://doi.org/10.1016/j.cities.2022.103753>
- *Kikuchi, H., Fukuda, A., & Emberger, G. (2025). Can diffusion of telework after COVID-19 sustain shrinking cities? Simulation analysis using a dynamic land-use and transport model. *Asian Transport Studies*, (11). <https://doi.org/10.1016/j.eastsj.2024.100155>
- Kohler, T. A., Bocinsky, R. K., Cockburn, D., Crabtree, S. A., Varien, M. D., Kolm, K. E., Smith, S., Ortman, S. G., & Kobti, Z. (2012). Modelling prehispanic Pueblo societies in their ecosystems. *Ecological Modelling*, (241), 30-41. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.01.002>

- *Kopainsky, B. U. (2005). *A system dynamics analysis of socioeconomic development in lagging Swiss regions* [Doctoral Thesis]. University of Zurich. <https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-004931324>
- *Krushel, E. G., Stepanchenko, I. V., Panfilov, A. E., Haritonov, I. M., & Berisheva, E. D. (2014). Forecasting Model of Small City Depopulation Processes and Possibilities of Their Prevention. En A. Kravets, M. Shcherbakov, M. Kultsova, & T. Iijima (Eds.), *Knowledge-Based Software Engineering* (pp. 446-456). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-11854-3_38
- Kwang-Ju, K., Mi-Kyung, S., Byung-Seol, J., & Man-Hyung, L. (2010). Alternative Urban Management Policies in the Depopulation Era. *Korean System Dynamics Review*, 11(4), 77-96.
- *Lauf, S., Haase, D., Seppelt, R., & Schwarz, N. (2012). Simulating Demography and Housing Demand in an Urban Region under Scenarios of Growth and Shrinkage. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 39(2), 229-246. <https://doi.org/10.1068/b36046t>
- *Lazar, L., Rodino, S., Pop, R., Tiller, R., D'Haese, N., Viaene, P., & De Kok, J.-L. (2022). Sustainable Development Scenarios in the Danube Delta-A Pilot Methodology for Decision Makers. *Water*, 14(21). <https://doi.org/10.3390/w14213484>
- *Li, C., Yu, T., Jia, N., Yang, P., & Xia, Q. (2025). A Coupled Model of System Dynamics and Environmental Models for the Development Process Deduction of the Yangtze River Basin: Model Construction Method. *Water*, 17(13), 1874. <https://doi.org/10.3390/w17131874>
- Liu, Y., Shu, L., & Peng, L. (2021). The Hollowing Process of Rural Communities in China: Considering the Regional Characteristic. *Land*, 10(9), 911. <https://doi.org/10.3390/land10090911>
- Lloret, F., Escudero, A., Lloret, J., & Valladares, F. (2024). An ecological perspective for analysing rural depopulation and abandonment. *People and Nature*, 6(2), 490-506. <https://doi.org/10.1002/pan3.10606>
- *Luo, S., Zhang, J., & Heffernan, M. (2024). Forecast of total health expenditure on China's ageing population: A system dynamics model. *BMC Health Services Research*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/s12913-024-12113-6>
- Makkonen, T., & Inkinen, T. (2023). Benchmarking the vitality of shrinking rural regions in Finland. *Journal of Rural Studies*, (97), 334-344. <https://doi.org/10.1016/J.JRURSTUD.2022.12.023>
- *Márton, L. (2022). Modeling and migration-based control of depopulation. *Theoretical Population Biology*, (148), 86-94. <https://doi.org/10.1016/j.tpb.2022.11.002>
- Matanle, P. (2014). Ageing and Depopulation in Japan. Understanding the Consequences for East and Southeast Asia in the 21st Century. En H. Dobson (Ed.), *East Asia in 2013: A Region in Transition* (pp. 30-35). ISEAS.
- Merritt, R. L. (1995). Population Imbalance and Political Destabilization. *International Political Science Review*, 16(4), 405-425. <https://doi.org/10.1177/019251219501600406>

- *Misuk, L., Hyun, Y. K., & Kim, C.-H. (2020). The Effect Analysis of Smart City Planning on Urban Dynamics Using System Dynamics Method—Focused on Anyang-city, Korea. *Journal of the Korean society of survey, geodesy, photogrammetry, and cartography*, 38(1), 57-67. <https://doi.org/10.7848/ksgpc.2020.38.1.57>
- Mladenov, C., & Ilieva, M. (2012). The depopulation of the Bulgarian villages. *Bulletin of Geography. Socio-economic series*, (17), 99-107.
- *Navarro, A., & Tapiador, F. J. (2019). RUSEM: A numerical model for policymaking and climate applications. *Ecological Economics*, (165), 106403. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106403>
- Newsham, N., & Rowe, F. (2023). Understanding trajectories of population decline across rural and urban Europe: A sequence analysis. *Population, Space and Place*, 29(3), e2630. <https://doi.org/10.1002/psp.2630>
- Núñez, P., & Goycoolea, R. (2024). Evaluación de las políticas e inversiones en desarrollo local en la España vaciada. Comarca Molina de Aragón-Alto Tajo, Guadalajara, 2000-22. *Hábitat y Sociedad*, (17), 219-239. <https://doi.org/10.12795/HabitatSociedad.2024.i17.10>
- *Pang, Y., Kashiyaama, T., & Sekimoto, Y. (2021). *Development of a Reinforcement Learning based Agent Model and People Flow Data to Mega Metropolitan Area*. En Y. Chen, H. Ludwig, Y. Tu, U. Fayyad, X. Zhu, X. Hu, S. Byna, X. Liu, J. Zhang, S. Pan, V. Papalexakis, J. Wang, A. Cuzocrea, & C. Ordonez (Eds.), *2021 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)* (pp. 3755-3759). <https://doi.org/10.1109/BigData52589.2021.9671399>
- Papadopoulos, A. G., & Baltas, P. (2023). Rural depopulation in Greece: Trends, processes, and interpretations. *Geographies*, 4(1), 1-20.
- Pérez, J. A., & Monago, F. J. (2005). Una aproximación al estado del capital social en dos comunidades rurales de Extremadura: Logrosán y Cañamero. *Cuadernos de geografía*, (78), 255-276.
- Pinilla, V., & Sáez, L. A. (2021). What Do Public Policies Teach us about Rural Depopulation: The Case Study of Spain. *European Countryside*, 13(2), 330-351. <https://doi.org/10.2478/euco-2021-0021>
- Quaranta, G., Salvia, R., Salvati, | Luca, De Paola, V., Coluzzi, R., Imbrenda, V., & Simoniello, T. (2020). Long-term impacts of grazing management on land degradation in a rural community of Southern Italy: Depopulation matters. *Land Degradation & Development*, 31(16), 2379-2394. <https://doi.org/10.1002/ldr.3583>
- Recaño, J. (2017). La sostenibilidad demográfica de la España vacía. *Perspectives Demográfiques*, (7), 1-4.
- *Refsgaard, K., & Johnson, T. G. (2010). Modelling policies for multifunctional agriculture and rural development – a norwegian case study. *Environmental Policy and Governance*, 20(4), 239-257. <https://doi.org/10.1002/eet.549>

- Reynaud, C., & Miccoli, S. (2018). Depopulation and the Aging Population: The Relationship in Italian Municipalities. *Sustainability*, 10(4), 1004. <https://doi.org/10.3390/su10041004>
- Sahebgharani, A., Wi niewski, S., Borowska-Stefa ska, M., Kowalski, M., & Mokoei, K. (2024). Analyzing the effect of depopulation on the spatial structure of the city of Łód , Poland: Development and application of an integrated land use and transportation model. *Habitat International*, (143), 102992. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2023.102992>
- San-Martin, E., & Soler-Vaya, F. (2024). Depopulation determinants of small rural municipalities in the Valencia Region (Spain). *Journal of Rural Studies*, (110), 103369. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2024.103369>
- *Santos, M., Ferreira, D., Bastos, R., Vicente, J., Honrado, J., Kueffer, C., Kull, C. A., Berger, U., & Alexandre Cabral, J. A. (2016). Linking landscape futures with biodiversity conservation strategies in northwest Iberia—A simulation study combining surrogates with a spatio-temporal modelling approach. *Ecological Informatics*, (33), 85-100. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2016.04.008>
- *Schwarz, N., Grossmann, K., Höhnke, C., & Süßbauer, E. (2012). *Modelling residential mobility in a shrinking medium-sized town: Model concept and first empirical results for Delitzsch, Germany*. 2566-2572. Recuperado de: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84894162869&partnerID=40&md5=5858d03139a4d996a4dd2707b2e46874>
- *Schwarz, N., & Haase, D. (2010). *Urban shrinkage: A vicious circle for residents and infrastructure? - Coupling agent-based models on residential location choice and urban infrastructure development*, (1), 817-824. Recuperado de: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84858627692&partnerID=40&md5=83eb454564a2ae1bea4d08b301830be8>
- Scimago (2026, marzo 16). *Scimago*. <https://www.scimagojr.com/worldreport.php>
- Siciliano, G. (2012). Urbanization strategies, rural development and land use changes in China: A multiple-level integrated assessment. *Land Use Policy*, 29(1), 165-178. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2011.06.003>
- Stèbe, P., Desjardins, X., Hodent, C., Thoin, M., Androit, P., & Laurent, M. (2024). *Rural areas and rural policies in Europe. Comparative study Comparative approach to five countries: Germany, Spain, Estonia, Ireland and Poland*. Agence Nationale de la Cohésion des Territoires (ANCT). Recuperado de: <https://agence-cohesion-territoires.gouv.fr/>
- Sterman, J. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw-Hill.
- Syssner, J. (2020). Arguments for a Local Adaptation Policy. En J. Syssner (Ed.), *Pathways to Demographic Adaptation: Perspectives on Policy and Planning in Depopulating Areas in Northern Europe* (pp. 69-86). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-34046-9_6

- Szymanowski, M., & Latocha, A. (2021). Does the environment matter? Depopulation in the Sudetes (case study of the Kłodzko region, SW Poland). *Applied Geography*, (135), 102535. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2021.102535>
- *Tanaka, M., Shioya, R., Yonezaki, K., Shiozu, Y., Tanev, I., & Shimohara, K. (2020). Visualizing Relationality as Assets toward Communities Vitalization. *2020 IEEE Asia-Pacific Conference on Computer Science and Data Engineering (CSDE)* (pp. 1-6). <https://doi.org/10.1109/CSDE50874.2020.9411641>
- Tebboth, M. G. L., Conway, D., & Adger, W. N. (2019). Mobility endowment and entitlements mediate resilience in rural livelihood systems. *Global Environmental Change*, (54), 172-183. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.12.002>
- *Tenza, A., Martinez-Fernandez, J., Perez-Ibarra, I., & Gimenez, A. (2019). Sustainability of small-scale social-ecological systems in arid environments: Trade-off and synergies of global and regional changes. *Sustainability Science*, 14(3), 791-807. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0646-2>
- Ulman, M., Šimek, P., Masner, J., Kogut, P., Löytty, T., Crehan, P., Charvát, K., Oliva, A., Bergheim, S. R., Kalaš, M., Kolokol, D., & Sabbatini, T. (2020). Towards future oriented collaborative policy development for rural areas and people. *Agris On-Line Papers in Economics and Informatics*, 12(1), 111-124. <https://doi.org/10.7160/aol.2020.120110>
- Vidal, T., & Recaño, J. (1986). Rural demography in Spain today. *Espace-Populations-Societes*, (3), 63-74. <https://doi.org/10.3406/espos.1986.1161>
- *Vidal-Legaz, B., Martínez-Fernández, J., Picón, A. S., & Pugnaire, F. I. (2013). Trade-offs between maintenance of ecosystem services and socio-economic development in rural mountainous communities in southern Spain: A dynamic simulation approach. *Journal of Environmental Management*, (131), 280-297. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.09.036>
- Viñuela, A. (2022). Immigrants' spatial concentration: Region or locality attractiveness? *Population, Space and Place*, 28(2), e2530. <https://doi.org/10.1002/psp.2530>
- Whitmore, T. M. (1991). A Simulation of the Sixteenth-Century Population Collapse in the Basin of Mexico. *Annals of the Association of American Geographers*, 81(3), 464-487. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.1991.tb01705.x>
- *Yang, Z. (2019). Sustainability of Urban Development with Population Decline in Different Policy Scenarios: A Case Study of Northeast China. *Sustainability*, 11(22). <https://doi.org/10.3390/su11226442>
- *Zhang, Q., Jin, C., Cao, J., Hu, J., Dai, C., Bilsborrow, R. E., Li, T., & Song, C. (2025). Understanding the role of land attachment in the emergence of hollow villages based on the agent-based complex system framework. *Land Use Policy*, (150). <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2024.107441>

ANEXO

Tabla 1.
Clasificación de las publicaciones incluidas en la revisión

Referencia	Contexto Geográfico	Metodología	Tema y Relación con la Despoblación	Dimensiones Representadas	Drivers de la evolución de la población	Políticas Evaluadas	Conclusiones Principales
Kopainsky (2005)	Suiza / Regional / Rural	Dinámica de Sistemas	Desarrollo socioeconómico en regiones rurales afectadas por la despoblación.	Demografía (población activa, población jubilada, nacimientos, muertes y migraciones), Economía (producción, mercado de trabajo, inversión, stock de capital, capacidad empresarial), Territorio (medido en capacidad de carga del territorio).	La población evoluciona según nacimientos, muertes y migraciones. Las tasas de natalidad y de mortalidad son exógenas. Las migraciones dependen de la oferta y demanda de trabajo, la producción de bienes y servicios y la capacidad de carga del territorio (basada en la disponibilidad de tierra para construcción).	1. Subsidios a la inversión de capital. 2. Cambios en las tasas de interés. 3. Apoyo a la creación de nuevas iniciativas empresariales. 4. Apoyo a la capacidad de implementación de iniciativas existentes. 5. Estrategias de atracción de grandes empresas inversoras. 6. Crecimiento sostenido de la demanda externa. 7. Combinación de crecimiento de demanda externa y de empleo para commuters.	1. La demanda externa (competitividad) es el driver más importante para contrarrestar la despoblación, siendo más efectivos los crecimientos pequeños y continuos que las inversiones puntuales grandes. 2. Las políticas de desarrollo endógeno requieren apoyar tanto la creación como la implementación exitosa de iniciativas de emprendimiento. 3. La efectividad de las políticas depende críticamente de las condiciones externas y existen dinámicas contraintuitivas (mejorar antes de empeorar) y retardos temporales que pueden llevar al fracaso político.
Silveira et al. (2006)	Teórico / Abstracto (economía en desarrollo genérica) / Rural y Urbano	Modelado Basado en Agentes	Analiza el fenómeno de migración rural-urbana durante las primeras etapas de industrialización. La relación con la despoblación es directa: la migración del campo a la ciudad es el mecanismo central que conduce a la despoblación rural.	Demografía (distribución espacial de la población entre sectores rural y urbano), Economía (salarios rurales y urbanos, producción agrícola e industrial, ingresos per cápita), Relacional (capital social).	La población total es constante, la localización de la población (rural/urbana) es endógena. Esta depende de: 1. Utilidad Privada: Diferencial de salarios esperados entre espacios geográficos (salario urbano ajustado por desempleo vs. salario rural). 2. Utilidad Social: Relaciones entre los vecinos. La migración neta resulta de la interacción de estos dos drivers.	El modelo no evalúa políticas específicas. Es un modelo teórico que busca replicar dinámicas macro observadas a partir de decisiones individuales de migración.	1. El modelo reproduce dinámicas emergentes típicas de economías en desarrollo: transición de una población predominantemente rural a urbana y aumento del ingreso per cápita. 2. La interacción social entre agentes retrasa la transición. 3. La heterogeneidad de los agentes (propensión a migrar) y la actividad afectan a la evolución temporal y al estado final del sistema.

Referencia	Contexto Geográfico	Metodología	Tema y Relación con la Despoblación	Dimensiones Representadas	Drivers de la evolución de la población	Políticas Evaluadas	Conclusiones Principales
Schwarz & Haase (2010)	Alemania (Leipzig) / Municipal / Urbano	Modelado Basado en Agentes	Investiga el círculo vicioso entre la pérdida de población en determinadas zonas de una ciudad y el empeoramiento de la infraestructura urbana.	Demografía (población, nacimientos, muertes, migración, hogares, tipos de hogar, localización de la población), Infraestructura y servicios (escuelas, transporte público, carreteras), Vivienda (stock existente, vacíos), Territorio (espacio geográfico dividido en celdas).	La evolución de la población total depende de tasas de natalidad, mortalidad y migración exógenas. La localización de la población dentro de la ciudad es endógena, resultado de las decisiones de los agentes-hogar.	El modelo es una herramienta para explorar dinámicas. No evalúa políticas concretas, pero analiza escenarios que simulan diferentes grados de interacción y adaptación entre residentes e infraestructura.	1. La simulación permite investigar las condiciones que llevan a una «contracción dispersa» en toda la ciudad frente al declive de distritos específicos. 2. Se identifica un potencial «círculo vicioso»: despoblación, infrautilización de infraestructura, desmantelamiento, menor atractivo, más despoblación. 3. La clasificación de hogares por tipo (ej. jóvenes solteros, familias) es crucial para modelar las preferencias de ubicación en una ciudad en contracción.
Retsgaard & Johnson (2010)	Noruega (Condado de Hordaland) / Regional / Rural	Dinámica de sistemas	Analiza el impacto de políticas agrícolas y de desarrollo rural en el desarrollo territorial y la calidad de vida. La relación con la despoblación es directa: el modelo evalúa cómo las políticas afectan la migración.	Demografía (población, migración por edad y educación), Economía (ingresos agrícolas y no agrícolas, producción, consumo, subsidios), Medio Ambiente (uso de la tierra, biodiversidad, exceso de nitrógeno, capital natural), Relacional (capital social y cultural), Territorio (usos de la tierra).	La población evoluciona según tasas de natalidad y de mortalidad exógenas y según migración, endógena. La migración está impulsada por: 1. Demanda de trabajo (migración impulsada por la demanda laboral). 2. Calidad de Vida (migración impulsada por la oferta, influenciada por el capital material, ingresos, y el capital natural, paisaje).	1. Base line: Políticas agrícolas y de desarrollo rural existentes (2001-2007). 2. Reducción del 50% en los pagos directos sin reasignación de fondos. 3. Diversificación de la economía rural, apoyo al turismo y las PYMES.	1. La reducción de subsidios agrícolas libera mano de obra y capital hacia sectores más productivos, mejorando el desempeño económico regional (mayores ingresos y empleo neto) a pesar de la contracción del sector agrícola. 2. Reasignar subsidios hacia la diversificación económica también genera beneficios económicos regionales. 3. La calidad de vida (influenciada por el capital natural y los ingresos) es un driver clave de la migración, afectando de forma diferente a jóvenes, familias y jubilados. 4. El modelo demuestra vínculos complejos y contraintuitivos entre política agrícola, desarrollo territorial y dinámicas poblacionales, resaltando la necesidad de políticas integradas.

Referencia	Contexto Geográfico	Metodología	Tema y Relación con la Despoblación	Dimensiones Representadas	Drivers de la evolución de la población	Políticas Evaluadas	Conclusiones Principales
Figueiredo & Pereira (2011)	Teórico / Rural	Dinámica de sistemas	Modela los cambios en un sistema socio-ecológico donde el abandono de tierras de cultivo y la migración rural se retroalimentan con la regeneración del bosque.	Demografía (Migración), Economía (Utilidad de la agricultura vs ciudad), Medio Ambiente (Dinámica de bosques), Territorio (usos de la tierra).	Solo se representan las migraciones. La utilidad comparativa de la agricultura con respecto al trabajo en la ciudad determina la decisión de migrar.	Subsidios agrícolas (alteran la utilidad de la agricultura).	La despoblación rural puede ser un proceso difícil de revertir debido al siguiente bucle de retroalimentación: la migración reduce el manejo agrícola, permitiendo la regeneración del bosque, lo que a su vez reduce el atractivo/utilidad de la tierra.
Lauf et al. (2012)	Alemania (Leipzig) / Municipal / Urbano	Dinámica de Sistemas	Analiza la demanda de vivienda bajo escenarios de crecimiento y contracción poblacional, considerando el cambio en los tipos de hogar (especialmente el aumento de hogares unipersonales).	Demografía (población, estructura por edad, nacimientos, muertes, migración tipos de hogares, distribución de la población por zonas de la ciudad), Economía (ingresos de los hogares, mercado de la vivienda), Vivienda (oferta y demanda de espacio residencial, costos de vivienda, vacantes, demolición y nueva construcción), Infraestructura y servicios (infraestructuras educativas, espacios verdes), Relacional (entorno social del vecindario, caracterización según edad, nivel económico y prestigio del barrio), Territorio (la ciudad se divide en 8 zonas).	La población evoluciona según fertilidad, mortalidad, migración neta y distribución por tipos de hogar, que son inputs exógenos según escenarios. La distribución de la población por zonas dentro de la ciudad es endógena, depende del atractivo de las zonas, que a su vez depende del mercado de la vivienda y es distinto para cada tipo de hogar.	El modelo no evalúa políticas específicas, sino escenarios demográficos: 1. Baseline: continúa la tendencia actual. 2. Escenario de crecimiento: aumento de fertilidad y migración neta. 3. Escenario de despoblación: disminución de fertilidad y migración neta.	1. La despoblación no reduce la demanda de suelo, el aumento de hogares unipersonales compensa la caída demográfica. 2. Surge una paradoja de escasez de vivienda asequible en medio de un exceso general de oferta, debido al aumento de hogares pobres que que dependen de ese stock específico. 3. Los hogares unipersonales de jóvenes son clave para revitalizar los centros urbanos, creando un ciclo virtuoso al reducir vacantes y mejorar el entorno. 4. Se requieren políticas de demolición más precisas y aprovechamiento de solares vacíos para evitar expansión urbana innecesaria.

Referencia	Contexto Geográfico	Metodología	Tema y Relación con la Despoblación	Dimensiones Representadas	Drivers de la evolución de la población	Políticas Evaluadas	Conclusiones Principales
Schwarz et al. (2012)	Alemania (Deltitzsch, Sajonia) / Municipal / Urbano (ciudad mediana)	Modelado Basado en Agentes	Modela la movilidad residencial (decisiones de mudanza) de los hogares en una ciudad que se está contrayendo. La despoblación es el contexto central que crea incertidumbre para las inversiones en el stock de viviendas y conduce a caída de	Demografía (hogares, tipos de hogar), Vivienda (mercado inmobiliario, precios, tipos de edificios), Economía (inversiones en eficiencia energética), Infraestructura y servicios (accesibilidad a servicios, espacios verdes), Territorio (espacio geográfico dividido en celdas).	La evolución de la población total está determinada por tasas de fecundidad, mortalidad y migración neta exógenas. La localización de la población dentro de la ciudad es endógena, surge de las decisiones de movilidad de los hogares-agente según sus preferencias, la situación del mercado de la vivienda y las características urbanas.	El modelo es una herramienta de pronóstico. Está diseñado para dar información a responsables políticos y cooperativas de vivienda a cerca de inversiones en eficiencia energética y demolición de viviendas vacantes. No evalúa políticas específicas en el artículo.	1. La despoblación cambia el comportamiento que tienen los hogares del mercado de la vivienda: en una ciudad mediana, pueden evaluar la oferta de vivienda de toda la ciudad, a diferencia de las grandes urbes. 2. Es crucial incluir la tercera dimensión espacial (la planta en la que se sitúa la vivienda) en el modelo, pues es un criterio clave de preferencia (ej. personas mayores que buscan pisos bajos).
Ma et al. (2013)	Japón (Ciudad de Kanazawa) / Municipal / Urbano (enfoque en centro urbano vs. periferia)	Modelado Basado en Agentes	Simula el proceso de relocalización residencial de hogares para evaluar la efectividad de una política de subsidio de vivienda para revitalizar el centro urbano en declive. La relación con la despoblación es directa: el modelo busca contrarrestar la pérdida de población en el centro de la ciudad.	Demografía (población, nacimientos, muertes, hogares, ciclo de vida de los hogares, localización geográfica de la población), Economía (niveles de ingreso, ahorros, coste de la vivienda, subsidios). Además, se representan una serie de atributos del espacio urbano por medio de 18 variables, con lo que se plasman otra serie de dimensiones: Infraestructura y servicios, Vivienda, Relacional, Territorio, Medio Ambiente, Seguridad.	Las tasas de natalidad, mortalidad y emparejamiento son exógenas. El ciclo de vida de los hogares es endógeno, las transiciones entre etapas (independiente, casado, criar hijos, etc.) desencadenan la consideración de reubicación. La satisfacción residencial de los hogares también es endógena (dependiente de los atributos del espacio urbano), si la satisfacción con la ubicación actual cae por debajo de un umbral, el hogar considera mudarse.	La principal política simulada en el modelo es la subvención de vivienda en el centro de la ciudad. Además, también se hacen variar otras variables exógenas (tasas de natalidad, tasas de mortalidad, etc) para ver los efectos de la política en diferentes situaciones.	1. La política de subsidios puede aumentar la relocalización hacia el centro urbano, pero su efectividad es limitada y varía según la edad y los ingresos. 2. La política es más atractiva para hogares de mediana edad y mayores (>40 años) con suficientes ahorros, pero menos efectiva para hogares jóvenes (<30 años). 3. Sin intervención política, las tendencias de relocalización natural (impulsadas por el ciclo de vida) no revertirían la despoblación del centro urbano, incluso con cambios en las tasas de natalidad o mortalidad.

Referencia	Contexto Geográfico	Metodología	Tema y Relación con la Despoblación	Dimensiones Representadas	Drivers de la evolución de la población	Políticas Evaluadas	Conclusiones Principales
Vidal-Legaz et al. (2013)	España (Abla y Abrcuna, Andalucía) / Municipal / Rural	Dinámica de Sistemas	Analiza los trade-offs entre el desarrollo socioeconómico y el mantenimiento de servicios ecosistémicos (valor estético del paisaje y suministro de agua) ante los cambios de uso del suelo. La despoblación es un problema central que el modelo busca entender y mitigar.	Demografía (población por cohortes de edad), Economía (ingresos, empleo), Medio Ambiente (recursos hídricos, valor paisajístico), Infraestructura y servicios (hoteles, comercios, infraestructura hídrica), Territorio (usos del suelo).	La población evoluciona de forma endógena según nacimientos, muertes y migración. La migración depende de los ingresos relativos, el empleo relativo, el valor paisajístico y la disponibilidad de servicios.	El modelo simula el efecto de diferentes cambios de uso del suelo observados (abandono de secano, intensificación con olivos e inversederos, expansión urbana). No evalúa políticas concretas, pero sirve como herramienta para testear futuras intervenciones de planificación territorial.	1. Existen trade-offs entre desarrollo económico y servicios ecosistémicos: la intensificación agrícola y urbana aumenta los ingresos y frena levemente la despoblación, pero degrada el paisaje y agota los acuíferos. 2. El abandono del almendral de secano tiene impactos negativos en todas las variables (economía, población y servicios ecosistémicos). 3. El desarrollo económico observado es insuficiente para detener la despoblación, lo que muestra la vulnerabilidad de estas comunidades. 4. Se necesitan políticas más proactivas (ej. pagos por servicios ecosistémicos) para promover las externalidades positivas de los usos tradicionales del suelo y diversificar la economía.
Krushel et al. (2014)	Rusia (región del Volga) / Municipal / Urbano (ciudad pequeña)	Modelado Basado en Agentes	Modeliza la dinámica de la despoblación en pequeñas ciudades y evalúa estrategias para revertirla mediante la creación de empleo a través de la pequeña empresa.	Demografía (población, estructura por edad, nacimientos, muertes, migración), Economía (empleo, salarios, desarrollo de negocios e inversiones).	La población evoluciona según nacimientos, muertes y migración. Los nacimientos son exógenos y las muertes se producen al alcanzar los habitantes cierta edad. La migración neta se determina por la disparidad salarial, el empleo y la edad de los habitantes.	1. Creación de un gran complejo empresarial: simula la construcción de una o varias grandes empresas que crean muchos puestos de trabajo bien remunerados en un corto periodo. 2. Fomento de las PYMES: modela un crecimiento más gradual y sostenido del negocio, basado en recursos locales.	1. Sin intervención, se proyecta una reducción del 50% de la población y un deterioro severo de la estructura por edad (disminución de la población en edad laboral, aumento de la proporción de jubilados). 2. Ambas políticas (gran empresa o desarrollo de PYMES) pueden detener e incluso revertir la despoblación. 3. La efectividad de las políticas disminuye drásticamente con el retraso en su implementación. Una acción temprana es fundamental.

Referencia	Contexto Geográfico	Metodología	Tema y Relación con la Despoblación	Dimensiones Representadas	Drivers de la evolución de la población	Políticas Evaluadas	Conclusiones Principales
Karashima et al. (2015)	Japón / Regional / Rural y Urbano	Modelado Basado en Agentes	Analiza la aglomeración espacial de áreas residenciales y servicios públicos como respuesta a la despoblación y el envejecimiento, para generar estructuras espaciales sostenibles.	Demografía (población, nacimientos, muertes, estructura por edad, hogares), Economía (ingresos, precio del suelo), Infraestructura y servicios (accesibilidad y sostenibilidad de instalaciones de servicios), Vivienda (vivienda en propiedad o alquiler), Territorio (espacio geográfico dividido en celdas).	La tasa de fecundidad, de mortalidad y de formación de nuevos hogares (hijos que se independizan) son exógenas. Se hace abstracción de la migración exterior. La localización interna es endógena, dependiente de ingresos, precio de suelo y acceso a servicios.	1. Mejora de la accesibilidad (ej. innovación en el transporte). 2. Subsidios o apoyo financiero (de administraciones u ONGs) para mantener servicios con pocos usuarios.	1. La mejora de la accesibilidad conduce a una estructura urbana más compacta, pero reúne todos los servicios en el centro, lo que no es realista para proveer servicios a toda la población. 2. El apoyo financiero para mantener servicios en la periferia permite esta estructura compacta, pero con servicios dispersos, siendo esta la política más viable y realista.
Dressler et al. (2016)	Alemania (Sajonia) / Regional / Comparación urbano: Leipzig vs. rural: Región del Neisse)	Modelado Basado en Agentes	Analiza cómo el cambio demográfico (declive y envejecimiento poblacional) afecta al rendimiento de la gestión de desastres, como las inundaciones. La despoblación reduce el número de voluntarios, poniendo en riesgo la capacidad	Infraestructura y servicios (red de transporte, material para gestionar desastres), Medio Ambiente (características de la inundación), Territorio (espacio geográfico expuesto con ríos, áreas inundables y la red vial para dos casos de estudio).	No se representa la población, sino que se representan directamente el número de unidades operativas de gestión de desastres. Este número se determina de forma exógena, pero se dice explícitamente que su reducción se debe a la reducción poblacional, aunque esta no aparezca explícitamente en el modelo.	Se evalúan escenarios de cambio (no políticas proactivas): 1. Pérdida de voluntarios. 2. Aumento de la intensidad de los desastres. 3. Mejora tecnológica (capacidad de transporte y acceso a la información).	1. La pérdida de voluntarios (despoblación) es el factor que más impacta el rendimiento, especialmente en áreas rurales con tiempos de alerta cortos. 2. La tecnología (mejor información) puede compensar parcialmente la falta de personal, pero no sustituir la por completo. 3. El riesgo es mayor en las regiones rurales.

Referencia	Contexto Geográfico	Metodología	Tema y Relación con la Despoblación	Dimensiones Representadas	Drivers de la evolución de la población	Políticas Evaluadas	Conclusiones Principales
Santos et al. (2016)	Noroeste de la Península Ibérica (Portugal y Galicia) / Regional / Rural	Modelado Basado en Agentes	Analiza las implicaciones futuras de la despoblación para la ecología, el uso del suelo y la biodiversidad /usando aves como indicador). La despoblación es el factor principal que induce el cambio en el paisaje rural.	Medio Ambiente (cubierta forestal, incendios, comunidades de aves), Territorio (uso del suelo y cobertura vegetal explícito espacialmente en un paisaje virtual).	La despoblación es el driver socio-económico central, modelado de forma exógena a través de la variable «Abandono» (probabilidad de que las tierras de cultivo se abandonen). Esto desencadena cambios en el uso del suelo que afectan a la biodiversidad y al régimen de incendios.	El modelo simula cuatro escenarios que representan diferentes trayectorias socioeconómicas y de gestión del suelo: 1. Mantenimiento de la gestión tradicional (baseline). 2. Declive poblacional e inversión en bosques de coníferas. 3. Declive poblacional e inversión en coníferas y eucaliptos. 4. Declive poblacional masivo e inversión masiva en eucaliptos.	1. La despoblación y el abandono agrícola conducen a paisajes menos diversos y más homogéneos, con impactos negativos en la biodiversidad. 2. Las especies de aves más afectadas son las más adaptadas al hábitat. 3. El escenario de gestión tradicional es el que mejor mantiene la biodiversidad. Los escenarios con expansión de plantaciones son los más perjudiciales. 4. Se recomienda mantener el mosaico agrícola tradicional y legislar para limitar la expansión de plantaciones de crecimiento rápido, conservando la biodiversidad y previniendo grandes incendios.
Faust et al. (2017)	EE. UU. / Municipal / Urbano	Híbrido. Dinámica de Sistemas + Modelado Basado en Agentes	Evalúa las interdependencias entre los sistemas de infraestructura hídrica y las dinámicas humanas en ciudades en declive, donde la despoblación crónica genera sistemas infrautilizados y subfinanciados.	Demografía (población), Infraestructura y servicios (sistemas de agua, aguas residuales, aguas pluviales), Economía (Ingresos de las utilities, costos, tarifas, elasticidad-precio y viabilidad financiera de las alternativas de reconfiguración), Medio Ambiente (escorrentía pluvial), Territorio (tipos de suelo, superficies impermeables).	La población es una variable exógena, evoluciona según los escenarios.	1. Aumentos de tarifas de agua y aguas residuales. 2. Inversión en reconfiguración de infraestructuras (ej. desmantelamiento de tuberías, superficies impermeables).	1. La planificación a largo plazo debe considerar la tasa de declive, la elasticidad-precio y los aumentos tarifarios de forma conjunta. 2. La falta de coordinación entre utilities puede llevar a pérdidas de ingresos. 3. El modelo proporciona proporciones intervalos de tolerancia para la demanda y los ingresos, útiles para la toma de decisiones bajo incertidumbre.

Referencia	Contexto Geográfico	Metodología	Tema y Relación con la Despoblación	Dimensiones Representadas	Drivers de la evolución de la población	Políticas Evaluadas	Conclusiones Principales
Navarro Et Tapiador (2019)	Áreas rurales de Europa, con aplicación específica a comunidades rurales de España	Dinámica de Sistemas	Modela las dinámicas socioeconómicas rurales para comprender el declive y evaluar políticas. La despoblación es el núcleo central del modelo: identifica umbrales de «masa crítica» y puntos de no retorno que explican la espiral de despoblación rural.	Demografía (población, nacimientos, muertes, migración, cohortes de edad), Ecológica (índice de desarrollo económico que agrega la estructura económica local, % sector primario, autotempleo, tasa de empleo y la provisión de servicios clave y públicos.), Infraestructura y servicios (disponibilidad de servicios), Territorio (parámetro de localización y accesibilidad de los municipios).	Las tasas de natalidad y de mortalidad son exógenas. La migración es endógena y depende del índice de atractivo, que a su vez depende de las oportunidades laborales, de la disponibilidad de servicios (educación, salud, etc) y de la estructura económica local.	No prueba una política concreta, sino que simula 36 escenarios que combinan diferentes condiciones iniciales (composición poblacional, características socioeconómicas y tamaño poblacional). Esto permite identificar puntos de inflexión y proponer actuaciones políticas como: mantener servicios educativos para evitar cruzar el umbral de masa crítica, reforzar los servicios de salud para retener a la población anciana, incentivar el mercado laboral para atraer a adultos en edad de trabajar.	1. Existe una «masa crítica» (1000 habitantes) por debajo de la cual los pueblos son incapaces de detener el declive debido a la pérdida de servicios esenciales, entrando en una espiral de no retorno. 2. La cohorte joven (15-29 años) se agota en casi todos los escenarios, lo que es crítico para la sostenibilidad. 3. Las condiciones socioeconómicas iniciales son determinantes para el futuro de las comunidades que se encuentran por encima de la masa crítica de población.
Tenza et al. (2019)	México (Oasis de Comondú, Baja California Sur) / Municipal / Rural (pequeño sistema socio-ecológico)	Dinámica de Sistemas	Analiza la sostenibilidad de un pequeño sistema socio-ecológico en un entorno árido, afectado por factores externos (globales y regionales). La despoblación (75% de pérdida entre 1940-2010) es el problema central y el resultado clave de la dinámica del sistema modelado.	Demografía (población), Economía (empleo, rentabilidad agrícola y ganadera, salario mínimo), Medio Ambiente (lluvia, capacidad de carga de pastizales, sequías, huracanes), Infraestructura y servicios (disponibilidad de servicios públicos), Territorio (usos de la tierra).	La población evoluciona de forma endógena según nacimientos, muertes y migración. La migración es la variable clave y depende del indicador de desempleo (demanda de empleo en agricultura y ganadería) y del indicador de servicios totales (disponibilidad de servicios públicos y capacidad de inversión local).	El modelo evalúa escenarios hipotéticos que eliminan el efecto de políticas de desarrollo regional pasadas: 1. Sin cambio agrario (sin desarrollo de agricultura externa tecnificada). 2. Servicios públicos constantes (sin reducción de la inversión pública). 3. Sin ejido.	1. La estructura socioeconómica local es más determinante que los factores externos. 2. Existe una doble exposición a la globalización y al cambio climático. 3. La creación del ejido, si bien frenó temporalmente la migración, aumentó la dependencia de la ganadería, haciéndola más vulnerable a la variabilidad climática. 3. La sostenibilidad se ve amenazada por la pérdida de capital humano y capital social, debido a la despoblación, no por el agotamiento de los recursos naturales.

Referencia	Contexto Geográfico	Metodología	Tema y Relación con la Despoblación	Dimensiones Representadas	Drivers de la evolución de la población	Políticas Evaluadas	Conclusiones Principales
Yang (2019)	China (Noreste: 8 ciudades) / Municipal / Urbano (ciudades industriales)	Dinámica de Sistemas (DS)	Evalúa la sostenibilidad del desarrollo urbano bajo diferentes escenarios de políticas para hacer frente a la contracción urbana. La despoblación el punto de partida para los escenarios simulados.	Demografía (población), Economía (PIB, estructura industrial, finanzas públicas), Infraestructura y servicios (sanidad, educación, energía), Medio Ambiente (emisiones, calidad ambiental, gestión de residuos).	La evolución de la población es un input exógeno al modelo, definido por el escenario de política. Las tasas de crecimiento poblacional (negativas o positivas) se imponen externamente para cada escenario.	Evalúa 5 escenarios de política basados en SSPs.	1. La contracción poblacional no es necesariamente incompatible con la sostenibilidad. Se pueden mantener e incluso mejorar los índices de sostenibilidad. 2. Intentar revertir la contracción a toda costa con políticas de crecimiento solo funciona para algunas ciudades, pero empeora la sostenibilidad en otras. 3. No actuar conduce al colapso del sistema urbano. 4. No existe una única solución; la efectividad de las políticas depende del contexto específico de cada ciudad.
Misuk et al. (2020)	Corea del Sur (Ciudad de Anyang) / Municipal / Urbano	Dinámica de Sistemas	Analiza los efectos a largo plazo de la inversión en proyectos de <i>smart city</i> en la dinámica urbana. La relación con la despoblación es central: el modelo proyecta una pérdida de población continua y evalúa si las políticas analizadas pueden mitigar este declive.	Demográfica (población, nacimientos, muertes, migración), Economía (número de negocios, número de empleos, fuerza laboral), Viviendas (número de viviendas, precio de la vivienda, ratio viviendas/hogares), Seguridad (índice de seguridad urbana, tasa de criminalidad), Medio Ambiente (calidad ambiental, emisiones de NO ₂), Infraestructura y servicios (volumen de tráfico, capacidad vial, velocidad promedio), Territorio (precio del suelo, demanda de suelo).	Las tasas de natalidad y de mortalidad son exógenas. La migración es endógena y se ve afectada por la atractividad urbana, una variable que sintetiza el atractivo de la ciudad para nuevos residentes. La atractividad depende, a su vez, de: a) atractivo laboral (ratio empleo/fuerza laboral), atractivo residencial (ratio viviendas/hogares), calidad ambiental, índice de seguridad urbana.	Se evalúa la planificación de la <i>smart city</i> de Anyang, que implica una inversión de 37.600 millones de wones (328 millones de USD). El modelo simula la inyección de este presupuesto en cuatro áreas: 1. Industria: 2.500 millones para creación de empleo. 2. Transporte: 10.700 millones para sistemas de transporte inteligente. 3. Seguridad: 18.800 millones para prevención inteligente de crimen y desastres. 4. Medio Ambiente: 800 millones para reducción de la contaminación.	1. Sin intervención, la población de Anyang disminuiría de 618.000 (2010) a 543.000 en 2040. 2. La inversión en la <i>smart city</i> frena la pérdida de población, proyectándose 4.000 residentes más para 2040 (547.000) en comparación con el escenario sin política. 3. La inversión no solo frena la despoblación, también: aumenta el número de negocios (761 empresas más para 2030), mejora el índice de seguridad urbana, aumenta la velocidad promedio de conducción. 4. La inversión ambiental fue insuficiente para mejorar significativamente la calidad del aire, sugiriendo la necesidad de un presupuesto mayor en este sector.

Referencia	Contexto Geográfico	Metodología	Tema y Relación con la Despoblación	Dimensiones Representadas	Drivers de la evolución de la población	Políticas Evaluadas	Conclusiones Principales
Tanaka et al. (2020)	Japón (Makishima-cho, Uji-shi, Kioto) / Municipal / Rural y Urbano	Híbrido: Simulación Multi-Agente (MAS) + Experimento de campo con aplicación móvil.	Propone un modelo <i>Gift & Circulation</i> para revitalizar comunidades mediante la creación y circulación de «activos de relationalidad». Se relaciona con la despoblación al intentar contrarrestar la pérdida de capital social y conexiones comunitarias que agravan el	Relacional (capital social, conexiones humanas, participación comunitaria), Infraestructura y servicios (centro comunitario).	La evolución de la población total no es modelada de forma endógena. El modelo se centra en la dinámica de las relaciones sociales como un activo clave para hacer frente a la despoblación y sus consecuencias	La política evaluada es la implementación del modelo <i>Gift & Circulation</i> a través de una aplicación móvil. El modelo incentiva con «puntos» actividades que generan capital social (conversaciones, visitas al centro comunitario, compartir fotos en un mapa) y permite «regalar» puntos a otros, con una redistribución semanal desde una «cuenta pública».	1. La simulación mostró que el modelo <i>Gift & Circulation</i> puede reducir la disparidad en la adquisición de «activos de relationalidad» entre los residentes. 2. El experimento de campo inicial reveló que era difícil para los participantes acumular puntos, lo que llevó a mejorar la aplicación (integrar más funciones, añadir nuevas formas de ganar puntos como contar pasos). 3. Se propone un modelo mejorado, <i>Gift & Reinforced Circulation</i> , que canaliza también las «pérdidas» por inactividad a la cuenta pública para aumentar la circulación. 4. La tecnología puede ser una herramienta para visualizar y fomentar las conexiones sociales, vitales para comunidades en declive.
Jiang et al. (2021)	EE UU. (Detroit) / Municipal / Urbano	Modelado Basado en Agentes	Simula la contracción del mercado de la vivienda y la pérdida de población (representada como hogares) en Detroit.	Demografía (hogares), Economía (Ingresos de hogares, presupuesto familiar, empleo/desempleo, inflación), Vivienda (transacciones, precios, oferta y demanda, costos de mantenimiento, hipotecas, impuestos), Territorio (espacio geográfico explícito dividido en tres submercados: centro urbano, suburbios de la ciudad, suburbios lejanos).	La población no se representa como tal, el modelo opera a nivel hogar, las variables que afectan al número de hogares son las siguientes: empleo/desempleo, ingresos del hogar, asequibilidad de la vivienda, preferencias residenciales.	No se evalúan políticas específicas, pero el modelo se presenta como una herramienta con potencial para probarlas en el futuro.	1. La contracción urbana (pérdida de hogares) emerge de las transacciones inmobiliarias a nivel micro. 2. A pesar de la despoblación, los precios de la vivienda muestran una tendencia al alza en la simulación debido a la inflación, lo que coincide con datos empíricos.

Referencia	Contexto Geográfico	Metodología	Tema y Relación con la Despoblación	Dimensiones Representadas	Drivers de la evolución de la población	Políticas Evaluadas	Conclusiones Principales
Khrutba et al. (2021)	Ucrania (Zhytomyr) / Municipal / Urbano	Dinámica de Sistemas	Predice la generación de residuos urbanos sólidos en un contexto de declive poblacional. La despoblación es un factor de entrada clave que altera la cantidad y composición morfológica de los residuos, afectando la planificación y economía de su gestión.	Demografía (población, tasas de natalidad y mortalidad), Economía (ingresos de los hogares, producción industrial, comercio minorista y catering), Medio Ambiente (residuos sólidos municipales, composición morfológica de residuos), Infraestructura y servicios (sistemas de gestión de residuos), Vivienda (stock de viviendas).	Tasa de natalidad y tasa de mortalidad exógenas.	El modelo es una herramienta de pronóstico para apoyar la planificación regional de la gestión de residuos, pero no evalúa políticas específicas de manera explícita.	1. El modelo desarrollado permite predecir con precisión los volúmenes y composición de los residuos urbanos sólidos bajo escenarios de cambio poblacional. 2. La despoblación conlleva una disminución en la cantidad total de residuos, pero también un cambio en su composición (aumento de orgánicos y plásticos, disminución de papel/cartón). 3. La gestión de residuos debe adaptarse a estos cambios y planificarse a nivel regional.
Kii et al. (2021)	Japón (Takamatsu) / Municipal / Urbano	Modelado Basado en Agentes	Evalúa reformas del sistema de transporte público (rediseño de rutas de autobuses) para adaptarse a una población en descenso y envejecida, y cómo estas afectan la movilidad, especialmente de los ancianos.	Demografía (población total, estructura por edad y género, envejecimiento poblacional, población en edad laboral), Infraestructura y servicios (red de transporte público, red vial, estaciones y paradas, frecuencia de servicio), Economía (subsidios al transporte, sostenibilidad financiera del sistema, costos operativos), Territorio (distribución espacial de la población, estructura urbana, accesibilidad), Medio Ambiente (emisiones de CO ₂ del transporte, impacto ambiental).	Exógena (proyecciones de población y escenarios de uso del suelo para 2050).	1. Reforma de la red de transporte. 2. Políticas de uso del suelo (compactación urbana vs. suburbanización).	1. La reforma del transporte público aumenta su uso, pero la despoblación y el envejecimiento lo reducen. 2. La compactación urbana y la reforma del transporte son sinérgicas para promover el transporte público. 3. La planificación debe integrar transporte y uso del suelo para abordar la seguridad vial de los ancianos, la salud y las emisiones.

Referencia	Contexto Geográfico	Metodología	Tema y Relación con la Despoblación	Dimensiones Representadas	Drivers de la evolución de la población	Políticas Evaluadas	Conclusiones Principales
Pang et al. (2021)	Japón (Área Metropolitana de Tokio) / Regional / Urbano	Modelado Basado en Agentes	Desarrolla un modelo para simular flujos interurbanos de personas en áreas metropolitanas. Se menciona el declive poblacional y el envejecimiento como factores que impactan la movilidad, pero el foco del modelo es simular los flujos de movilidad resultantes, no la evolución de la población total.	Demografía (distribución espacial de la población), Infraestructura y servicios (red de transporte, modos de transporte, accesibilidad entre ciudades), Territorio (espacio geográfico explícito dividido en celdas de 1km x 1km), Movilidad (flujos de personas, elección de destinos, patrones temporales de movimiento).	La evolución de la localización de la población es endógena. Los agentes toman decisiones secuenciales de movilidad cada 30 minutos. La elección de destino y modo de transporte está impulsada por una función de recompensa aprendida a partir de datos de movilidad real (encuestas de viajes).	El modelo no evalúa políticas específicas. Su objetivo principal es la generación de datos sintéticos de alta resolución espacio-temporal de flujos de personas. Aún así, el modelo es una herramienta de planificación con potencial para evaluar políticas de transporte, uso del suelo o respuestas a desastres/pandemias que afecten la movilidad.	1. El modelo basado en generadores de personas que replican con precisión los patrones de movilidad observados en el área metropolitana de Tokio. 2. La clasificación de agentes en tipos «intra-ciudad» e «inter-ciudad» mejora el realismo del modelo. 3. Los principales desafíos futuros son reducir la dependencia de información inicial detallada e incorporar más atributos de los agentes (edad, ocupación) para una mayor autonomía y realismo.
Kikuchi et al. (2022)	Japón (Ciudad de Chiba) / Municipal / Urbano	Híbrido. Dinámica de Sistemas integrada en un modelo LUTI (Land-use and transport interaction)	Evalúa el proceso de implementación de políticas de «ciudad compacta» para adaptarse al declive poblacional, analizando su impacto en los servicios urbanos y las finanzas municipales durante la transición.	Demografía (población total, número de hogares, población en edad laboral, estructura por edad), Economía (ingresos fiscales municipales, costos de mantenimiento, subsidios, finanzas públicas locales), Infraestructura y Servicios (instalaciones públicas, redes de transporte), Territorio (uso del suelo, zonas de análisis de tráfico, áreas urbanas centrales vs. suburbanas, accesibilidad).	La evolución de la población total es exógena y su localización es endógena. La localización depende de la densidad de equipamientos públicos, del coste de desplazamiento al equipamiento más cercano, de subsidios e incentivos fiscales, del grado de mantenimiento de los equipamientos públicos y de los avances en tecnologías de la información, que pueden compensar la pérdida de equipamientos públicos.	1. Baseline. 2. Eliminación de equipamientos públicos con baja demanda. 3. Agregación y mantenimiento de equipamientos públicos en los núcleos urbanos centrales. 4. Agregación y mantenimiento de equipamientos públicos a «bases distritales» a lo largo del transporte público. 5. Difusión de las tecnologías de la información para mantener servicios digitalmente.	1. Las políticas de ciudad compacta (escenarios 2 y 3) crean disparidades en el acceso a servicios, aumentando los costes de viaje para los residentes suburbanos. 2. La implementación conlleva una carga financiera inicial muy alta para el gobierno local por los subsidios de reubicación y demolición. 3. El modelo policéntrico (escenario 4) es más viable financieramente que el monocéntrico (escenarios 2 y 3). 4. Las tecnologías de la información pueden ser una alternativa para reducir costes de mantenimiento sin agravar las disparidades de acceso, pero no sustituyen todos los servicios.

Referencia	Contexto Geográfico	Metodología	Tema y Relación con la Despoblación	Dimensiones Representadas	Drivers de la evolución de la población	Políticas Evaluadas	Conclusiones Principales
Lazar et al. (2022)	Rumania (Delta del Danubio) / Regional / Rural	Dinámica de Sistemas	Desarrollo sostenible en un territorio en proceso de despoblación por desequilibrios socioeconómicos-ambientales.	Demografía (población), Economía (ingresos rurales, producción acuícola y agrícola, ingresos turísticos, costos de producción, precios de productos, fuerza de trabajo, empleo), Medio Ambiente (calidad del agua, carga de nitrógeno, flujo del Danubio, precipitación, evaporación, capacidad de carga ecológica, recursos pesqueros, biodiversidad, paisaje), Territorio (área de reserva de la biosfera, zonas acuáticas y terrestres, áreas para acuicultura).	La despoblación es un problema central identificado, pero la evolución de la población se modela como un driver exógeno (input del sistema).	Se evalúan 4 escenarios relacionados con los SSP. Se incluyen diferentes hipótesis en variables clave del modelo: demanda de pescado, precio del pescado, demanda turística, uso de fertilizantes, etc.	1. El escenario SSP2 es el más sostenible, combinando intensificación moderada de acuicultura con agricultura ecológica y turismo slow. 2. La acuicultura intensiva tiene el mayor impacto en calidad del agua (12-16 veces mayor que la agricultura en 2050). 3. Es crucial el equilibrio entre actividades económicas y conservación ambiental para frenar la despoblación.
Márton (2022)	Teórico / Abstracto (sin caso de estudio geográfico específico) / Rural y Urbano	Dinámica de sistemas	Desarrolla un modelo de dinámica poblacional orientado al control de la despoblación actuando sobre los costos de migración. La despoblación se modela explícitamente como el núcleo del problema.	Demografía (población, tasa de crecimiento natural de la población, flujos migratorios, costos de migración), Territorio (hábitats interconectados, capacidad de carga del territorio).	La evolución de la población es endógena. Depende de: 1. Tasa de crecimiento natural. 2. Flujos migratorios (inmigración y emigración), los cuales a su vez dependen de la «repulsividad» del hábitat de origen, la «atractividad» del destino y los costos de migración.	La política evaluada es una estrategia de control que modifica los costos de migración para fomentar la inmigración y/o desincentivar la emigración cuando la población cae por debajo de un umbral crítico.	1. La despoblación puede evitarse mediante el control activo de los flujos migratorios. 2. La estrategia de control es robusta y efectiva incluso en presencia de incertidumbres en el modelo. 3. La intervención temprana es crucial para evitar el colapso poblacional.
Homutiniņš et al. (2024)	Letonia / Regional (todas las regiones del país) / Rural y Urbano	Dinámica de Sistemas	Pronostica la disponibilidad futura de fuerza de trabajo a nivel regional modelando el impacto de la emigración y la baja fecundidad en la población joven y en edad laboral.	Demografía (población, estructura poblacional por edad, fecundidad, mortalidad, migración), Economía (fuerza de trabajo)	Las tasas de fecundidad, tasas de mortalidad y flujos de emigración neta son exógenos.	Se evalúan escenarios de mayor o menor emigración neta, no políticas.	Todas las regiones de Letonia experimentarán una drástica disminución de la población joven y en edad laboral, lo que amenaza la disponibilidad futura de fuerza de trabajo.

Referencia	Contexto Geográfico	Metodología	Tema y Relación con la Despoblación	Dimensiones Representadas	Drivers de la evolución de la población	Políticas Evaluadas	Conclusiones Principales
Luo et al. (2024)	China / Nacional/ Rural y Urbano	Dinámica de Sistemas	Pronostica el gasto en salud ante el envejecimiento y el declive poblacional en China. El envejecimiento es el driver central que impulsa el aumento del gasto sanitario, total y per cápita, a la vez que la población total se reduce, tensionando el sistema económico.	Demografía (población, estructura por edad, nacimientos, muertes), Economía (PIB, fuerza de trabajo stock de capital), Infraestructura y servicios (gasto sanitario total, gasto sanitario per cápita, desglosado por edad y sexo).	La población evoluciona según nacimientos y muertes. Las tasas de fecundidad y de mortalidad se determinan de forma exógena.	No se simulan medidas políticas, sino directamente los efectos de las políticas. Concretamente se actúa sobre la tasa de fecundidad y la eficiencia del gasto sanitario.	1. El envejecimiento y la despoblación conducen a un aumento masivo del gasto sanitario total y per cápita, incluso considerando ganancias de eficiencia. 2. Un aumento de la tasa de fecundidad ralentiza el envejecimiento de la población y reduce el gasto sanitario per cápita, pero aumenta el gasto sanitario total al haber más población. 3. Se necesita un crecimiento económico sostenido y políticas que mejoren la eficiencia del gasto sanitario para afrontar la carga financiera.
Kikuchi et al. (2025)	Japón (Ciudad de Chiba) / Municipal / Urbano	Híbrido. Dinámica de Sistemas integrada en un modelo LUTI (Land-use and transport interaction)	Analiza si la difusión del teletrabajo, acelerada por el COVID-19, puede sostener las ciudades en contracción o si, por el contrario, dificulta la sostenibilidad al disminuir la población y reducir el uso del transporte público.	Demografía (población total, distribución espacial de la población, densidad poblacional), Economía (precios de suelo y vivienda, desarrollo de viviendas y lugares de trabajo, crecimiento económico), Infraestructura y Servicios (red de transporte público, red vial, accesibilidad, paradas de transporte), Vivienda (desarrollo residencial, elección de ubicación de viviendas), Territorio (uso del suelo, zonas de análisis de tráfico, áreas urbanas vs. suburbanas, disponibilidad de tierra), Movilidad (elección modal, viajes totales, patrones de viaje).	La evolución de la población total es exógena y su localización es endógena. La localización depende de la accesibilidad a los lugares de trabajo, el precio de la vivienda y del suelo, la disponibilidad de terreno, la cuota de zonas verdes y la difusión del teletrabajo.	Difusión del teletrabajo (cuatro escenarios con tasas de penetración anual del 0%, + 0.5%, + 1.0% y + 0.5%).	1. El teletrabajo fomenta la dispersión poblacional y reduce la centralización urbana, dificultando el objetivo de crear ciudades compactas. 2. La alta penetración del teletrabajo reduce drásticamente la demanda de transporte público, amenazando su sostenibilidad financiera. 3. La innovación tecnológica (teletrabajo) por sí sola no es suficiente para sostener las ciudades en declive y puede generar nuevos problemas. Se necesitan políticas integradas que contrarresten sus efectos negativos.

Referencia	Contexto Geográfico	Metodología	Tema y Relación con la Despoblación	Dimensiones Representadas	Drivers de la evolución de la población	Políticas Evaluadas	Conclusiones Principales
Li et al. (2025)	China (Cuenca del Río Yangtsé) / Regional (conjunto de provincias) / Rural y Urbano	Híbrido. Dinámica de Sistemas + Modelo Ambiental de Calidad del Agua	Modela el desarrollo a largo plazo del sistema socioeconómico y ambiental en una cuenca fluvial. Identifica el declive poblacional futuro como un riesgo significativo y un desafío para el desarrollo.	Demografía (población, estructura por edad, nacimientos, muertes), Economía (PIB, fuerza de trabajo, stock de capital, transferencias interprovinciales), Medio Ambiente (Emissiones de contaminantes del agua de fuentes domésticas, industriales y agrícolas; calidad del agua en la cuenca), Recursos (producción de grano, consumo de energía), Infraestructura y Servicios (Presas, conectividad fluvial, energía), Territorio (área de cultivo, cobertura forestal).	La población evoluciona según nacimientos y muertes. La tasa de fecundidad disminuye de forma endógena con el aumento del PIB per cápita y la urbanización. La esperanza de vida aumenta de forma endógena con el PIB per cápita y la producción de grano, pero disminuye con el consumo de energía y la contaminación del agua.	Se centra en la construcción y validación del modelo, no en evaluar políticas específicas. Sin embargo, las simulaciones a 100 años (2000-2100) bajo un escenario BAU permiten identificar riesgos futuros que requieren intervención política. Algunas de las políticas recomendadas son: incentivos a la natalidad, pagos de transferencia interprovinciales, preparación para desastres, inversión en energía limpia, control de fósforo y mejora de la conectividad ecológica de las presas.	1. El modelo predice un declive poblacional significativo (-38% para 2100) tras un pico alrededor de 2030, impulsado por el envejecimiento y la baja fecundidad, identificándolo como el desafío más importante a largo plazo. 2. El crecimiento económico continuará, pero se ampliarán las brechas regionales. 3. La calidad del agua mejora. 4. La seguridad hídrica mejora con las presas, pero a costa de efectos en la conectividad fluvial y en la ecología.
Zhang et al. (2025)	China (Provincia de Anhui) / Municipal (dos aldeas rurales) / Rural	Modelado Basado en Agentes	Analiza la formación de "aldeas huecas" (despoblación y abandono de tierras) centrándose en el papel del apego a la tierra y los bucles de retroalimentación entre la migración laboral y el abandono de tierras de cultivo.	Demografía (población, estructura de hogares, migración laboral, retorno migratorio, composición generacional), Economía (ingresos, medios de vida agrícolas vs. no agrícolas, seguridad alimentaria), Medio Ambiente, Vivienda, Territorio (usos de la tierra), Relacional (apego a la tierra).	La población evoluciona de forma endógena según decisiones de migración, no hay nacimientos y muertes. La migración está impulsada por: factores económicos (disparidades rural-urbanas, oportunidades laborales), apego a la tierra (dependencia funcional y apego emocional a parcelas y viviendas), estructura demográfica (diferencias generacionales en apego a la tierra).	El modelo no evalúa una política concreta, pero simula escenarios con y sin apego a la tierra. Los resultados tienen fuertes implicaciones: 1. Son importantes las políticas que fomentan la migración de retorno. 2. También lo son las políticas de consolidación de tierras y revitalización rural que integren el apoyo a los migrantes que retornan. 3. Y las que refuerzan la seguridad de la tenencia de la tierra.	1. La migración de retorno y la consiguiente reconversión de tierras en terreno agrícola son más críticas que la migración para prevenir la formación de "aldeas huecas". 2. El apego a la tierra fomenta la migración de retorno y la reconversión, creando una retroalimentación que frena el abandono. 3. La planificación debe considerar estos efectos de retroalimentación endógena y adoptar un enfoque de sistema socio-ecológico, integrando el apoyo al retorno y la mejora de la eficiencia en el uso de la tierra.

Contribuciones de los autores

	Luis Llases	Juanjo Mediavilla
Conceptualización	60 %	40 %
Tratamiento de datos	100 %	0 %
Análisis formal	80 %	20 %
Acceso a financiación	0 %	100 %
Investigación	80 %	20 %
Metodología	70 %	30 %
Gestión del proyecto	0 %	100 %
Recursos	0 %	100 %
Software	80 %	20 %
Supervisión	0 %	100 %
Validación	10 %	90 %
Visualización	100 %	0 %
Redacción (borrador)	65 %	35 %
Redacción (revisión y edición)	55 %	45 %

Para más información, ir a CRediT: <https://casrai.org/credit/>

Extended Abstract

1. Introduction and justification

Depopulation must be conceptualised as a systemic and endogenously self-reinforcing process, not as a mere deficit in population stock: the loss of inhabitants contracts economic activity and the provision of essential services —healthcare, education, transport, infrastructure—, which in turn activates new emigration incentives and discourages fertility and immigration, deepening the spiral of demographic decline. This negative feedback loop constitutes the dynamic core of the phenomenon and determines its long-term territorial trajectory. The scholarly literature on local development further underscores that a territory's resilience depends on interrelated endogenous capitals —economic, human, social, institutional, cultural and natural—, among which social capital acts as the key articulating mechanism capable of modulating the impact of exogenous pressures on community sustainability.

Conventional methodological approaches —econometric models, cohort-component projections, GIS analysis, machine learning— have proven useful for identifying statistical correlations between demographic and socioeconomic variables. However, they share a structural limitation: their static or linear configuration prevents the explicit dynamic representation of the circular causality that characterises depopulation. A regression model can identify the correlation between service deficits and emigration, but cannot simulate how progressive service erosion —driven by the very population contraction the model seeks to explain— amplifies future decline. To overcome this constraint, System Dynamics (SD) and Agent-Based Models (ABM) emerge as privileged methodological frameworks, as both paradigms are designed to represent feedback loops natively: SD through aggregate stock-and-flow structures with circular causalities, and ABM through a bottom-up logic in which macro-level patterns emerge from the interactions of heterogeneous individual agents.

2. Objectives, methodology and sources, areas of study

The central objective of this work is to systematise the body of research applying SD and ABM to the study of depopulation, identifying its fundamental characteristics, thematic trends and methodological shortcomings. It seeks to provide a critical foundation for future research and improve the utility of models for public policy design.

A systematic literature review was conducted in Scopus and Web of Science, combining descriptors related to demographic decline (*depopulation, population decline, demographic shrinkage, demographic collapse, exodus*) with methodological terms (*system dynamics, agent-based, multi-agent*). After removing 73 duplicates, screening by title and abstract, and applying inclusion criteria —requiring an implemented computational model whose central phenomenon was depopulation—, 33 publications were selected for full-text retrieval. Two were subsequently excluded for insufficient thematic alignment, and three were added via snowball sampling, yielding a final corpus of 31 publications. Analysis was structured around seven analytical categories: (1) geographical context; (2) methodology —pure SD, pure ABM or hybrid—; (3) subject matter and relationship to depopulation; (4) dimensions represented; (5) population drivers and their endogenous or exogenous character; (6) policies evaluated; and (7) main conclusions.

3. Results

Our review of the literature shows sustained growth over the past two decades at a rate exceeding that of global scientific output, reflecting both the rising academic concern for depopulation and the growing accessibility of SD and ABM software within the social sciences. Methodologically, 56% of studies employ SD and 46% ABM, with five hybrid models combining these approaches with tools such as Land Use and Transport Interaction (LUTI) (models or environmental water-quality models.

Geographically, research concentrates in Japan (23%), Germany (13%) and China (13%), followed by Spain and the United States (6% each). Municipal-scale studies predominate (55%), consistent with the local manifestation of decline effects, while the distribution across urban (42%), rural (29%) and mixed (29%) contexts confirms that depopulation transcends the rural sphere. Regarding dimensions represented, demography (90%), economy (81%) and territory (77%) are the most common, followed by infrastructure and services (65%), environment (48%) and housing (32%). The relational

dimension –social capital, community networks, sense of belonging– appears in only 19% of the models, making it the most systematically absent category despite its recognised theoretical relevance.

Critically, only a minority of studies endogenously model the core feedback loop linking population loss to economic contraction and service reduction. The majority treat aggregate population dynamics as an exogenous input or define them through predefined scenarios. A cohesive subgroup of shrinking cities studies –prominent in Japan and Germany– partially addresses this by endogenizing intraurban residential location, while keeping overall demographic dynamics exogenous.

4. Discussion

The geographical concentration of the reviewed corpus in a limited set of countries –with the notable absence of southern and eastern European economies experiencing marked demographic contraction, such as Italy, Greece, Bulgaria or the Baltic states– constrains the transferability of findings and points to an underexplored research frontier.

The most critical methodological shortcoming is the limited endogenous modelling of the central depopulation feedback loop. Despite SD and ABM being paradigms conceived to capture circular causalities, a substantial proportion of reviewed models externalises population dynamics, thereby underutilising their core analytical capacity. Treating demographic decline as a system input rather than as an emergent outcome prevents these models from simulating how socioeconomic variables, environmental conditions and public service provision interact with and reinforce demographic decisions over time. The underrepresentation of the relational dimension compounds this limitation: the difficulty of quantifying social capital, the absence of standardised calibration data, the complexity of formalising dynamic processes such as trust generation or community bond erosion, and disciplinary inertia all converge to perpetuate a systematic bias towards the materially measurable. Models omitting this dimension risk overestimating the effects of included variables and implicitly assuming constancy in factors that are, in reality, endogenous to the system.

The conclusions of the most endogenized models reveal two transversal findings of high analytical interest: the existence of critical thresholds or tipping points beyond which decline becomes self-reinforcing and irreversible, and the presence of hysteresis,

whereby the system —once its resistance capacity is exceeded— is unlikely to return to its prior equilibrium. Both findings underscore the importance of policy timing: intervention effectiveness decreases non-linearly as demographic deterioration advances, reinforcing the case for early, integrated and synergistic policy action.

5. Conclusions

This systematic review confirms the structural suitability of SD and ABM for addressing the inherent complexity of depopulation as a systemically self-reinforcing process. The multidimensional classification of 31 models has enabled the mapping of the state of the art and, most importantly, the detection of the shortcomings charting the course for future research. The key finding is that only a minority of studies endogenously models the central feedback loop, implying a systematic underutilisation of the analytical strengths of these paradigms. Furthermore, the relational dimension remains absent from most quantitative simulation models despite its well-established theoretical centrality. Incorporating it requires not merely adding new variables, but developing mechanisms capable of representing how social relations are generated, sustained or eroded, and how they shape individual and collective migration and residence decisions.

6. Next steps

Four priority lines of future research emerge from the review. First, advancing models that more fully endogenise the demographic-economic-services feedback loop, increasing the level of detail in inter-subsystem interactions. Second, operationally incorporating the relational dimension —through empirically calibrated proxy indicators of social capital or ABM behavioural rules integrating territorial attachment and community ties— to enable simulation of policies targeting social fabric strengthening beyond purely economic or infrastructural interventions. Third, expanding geographical coverage towards underrepresented contexts, particularly in southern and eastern Europe, to test the transferability of existing models and enrich the understanding of the phenomenon with new territorial case studies. Finally, developing comparative studies that analyse depopulation dynamics across different countries or regions, a barely explored line of work with considerable potential for generating generalisable knowledge about the universal mechanisms and local specificities of demographic decline.