



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería en Organización Industrial**

**Diseño de modelo de simulación de  
desarrollo local basado en dinámica de  
sistemas**

**Autor:**

**Vegas Merino, David**

**Tutor:**

**Miguel González, Luis Javier**  
DPTO. Ingeniería de Sistemas y  
Automática

**Valladolid, julio de 2022.**

## Resumen y palabras clave

**Resumen:** El presente TFG se enmarca en el proyecto de investigación *Spanish Demographic Dynamics Assessment Model* (SPANDAM). El objetivo principal de este trabajo es la elaboración de un primer prototipo de herramienta con carácter generalista que oriente en la toma de decisiones y políticas públicas relacionadas con el reto demográfico en España. Se ha desarrollado un primer prototipo de modelo de simulación que permite evaluar el potencial impacto de medidas políticas orientadas a mejorar el equilibrio demográfico en áreas geográficas bajo riesgo de despoblación. El modelo ha sido desarrollado con la metodología de Dinámica de Sistemas y el software VENSIM DSS. Para la realización del TFG se ha tomado como referencia la región de las Arribes del Duero al ser uno de los cinco casos de estudio propuestos en la descripción del proyecto.

**Palabras clave:** dinámica de sistemas, despoblación, modelo de simulación, demografía.

**Abstract:** This End-of-Degree project is part of a project so-called *Spanish Demographic Dynamics Assessment Model* (SPANDAM). The main objective of this work is the development of a first prototype to guide in the decision-making of public policies related to the demographic challenge in Spain. The simulation model, developed in system dynamics methodology, enable policymakers to assess the potential impacts of measures aiming to improve the demographic balance in geographical areas at risk of depopulation. To carry out the End-of-Degree Project, the Arribes del Duero region has been considered as study case, one of the five local areas proposed in the description of the aforementioned project.

**Key words:** system dynamics, depopulation, simulation model, demography.

## **Agradecimientos**

Me gustaría agradecer a mis padres y hermano por el apoyo y consejos que me han brindado durante estos cuatro años de estudios. También a todos esos amigos que he conocido en la carrera, con los cuales he compartido grandes momentos dentro y fuera de las clases.

Por último, agradecer al grupo GEEDS, especialmente a Luis Lases González y Gonzalo Parrado Hernando, por haberme permitido trabajar y aprender de ellos durante este tiempo.

## Índice de contenidos

1.	Introducción.....	1
1.1	Marco del TFG .....	1
1.2	Justificación y motivación.....	2
1.3	Objetivos.....	2
1.4	Hipótesis generales .....	3
1.5	Consideraciones sobre la memoria .....	3
1.6	Estructura de la memoria.....	4
2.	Descripción el problema .....	5
2.1	Definiciones.....	5
2.2	Contexto español .....	5
2.3	Causas subyacentes.....	7
2.4	Políticas contra la despoblación .....	8
2.4.1	Clasificación .....	8
2.4.2	Caso español .....	9
3.	Metodología utilizada.....	11
3.1	Dinámica de Sistemas.....	11
3.1.1	Introducción .....	11
3.1.2	Elementos .....	11
3.1.3	Usos de la dinámica de sistemas en la actualidad.....	12
3.1.4	Diagrama causal o relacional .....	13
3.1.5	Diagrama de flujo .....	15
3.2	Software.....	16
3.2.1	Posibilidades y limitaciones .....	17
3.2.2	Interfaz .....	17
3.3	Modelos consultados.....	19
4.	Descripción del modelo .....	21
4.1	Estructura general .....	22
4.2	Estructura específica .....	28
4.2.1	Estructura módulo demográfico .....	28
4.2.2	Estructura módulo educativo.....	31
4.2.3	Estructura módulo sanitario .....	33
4.2.4	Estructura módulo económico.....	36

4.2.5	Estructura módulo medioambiental.....	39
4.2.6	Estructura módulo urbanismo .....	45
4.2.7	Estructura módulo transporte y comunicaciones .....	47
4.2.8	Estructura módulo cultural .....	48
4.2.9	Estructura módulo valores y capital social .....	49
4.2.10	Estructura módulo servicios sociales .....	51
4.2.11	Estructura módulo de atractivos locales.....	52
4.2.12	Estructura módulo de variables externas .....	56
5.	Resultados y discusión .....	59
5.1	Resultados.....	59
5.1.1	Módulo demográfico .....	59
5.1.2	Módulo educativo .....	60
5.1.3	Módulo sanitario.....	62
5.1.4	Módulo económico .....	63
5.1.5	Módulo medioambiental .....	65
5.1.6	Módulo de atractivos locales .....	66
5.2	Discusión .....	68
5.2.1	Hallazgos principales .....	68
5.2.2	Resultados inesperados .....	69
5.2.3	Limitaciones.....	69
5.2.4	Líneas futuras de trabajo.....	70
6.	Conclusiones .....	71
7.	Valoración personal .....	73
8.	Bibliografía.....	75
9.	ANEXO: SPANDAM SMD – Doc.....	79

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1.1. Logo SPANDAM. FRE.....	1
Ilustración 2.1. Población histórica en España (1998 - 2021). INE.....	6
Ilustración 2.2. Mapa densidad población España (2019). Wikipedia: Dieghernan84.....	6
Ilustración 3.1. Diagramas causales y bucles. TFG Elena Zamora.....	13
Ilustración 3.2. Combinación de bucles reforzantes y estabilizantes. (Sterman, 2004).....	14
Ilustración 3.3. Diagrama causal SPANDAM. Elaboración propia (VENSIM).....	15
Ilustración 3.4. Diagrama de flujo. Elaboración propia (VENSIM). ....	16
Ilustración 3.5. Interfaz VENSIM. Elaboración propia.....	18
Ilustración 3.6. Interfaz VENSIM: stock, flujos y variables. Elaboración propia.....	18
Ilustración 4.1. Estructura general SPANDAM. Ppt kick-off meeting SPANDAM.....	21
Ilustración 4.2. WP SPANDAM. Ppt kick-off meeting SPANDAM. ....	21
Ilustración 4.3. Estructura modelo SPANDAM. Ppt kick-off meeting.....	22
Ilustración 4.4. Alternativa flujo-stock módulo demográfico. (Purvis et al., 2022). .	29
Ilustración 4.5. Alternativa stock único módulo demográfico. Elaboración propia. .	29
Ilustración 4.6. Módulo demográfico. Elaboración propia.....	30
Ilustración 4.7. Ejemplo stock módulo demográfico. Elaboración propia.....	30
Ilustración 4.8. Módulo educativo. Elaboración propia. ....	33
Ilustración 4.9. Módulo sanitario. Elaboración propia.....	35
Ilustración 4.10. Módulo económico. Elaboración propia.....	38
Ilustración 4.11. Módulo medioambiental. Distribución del suelo.....	41
Ilustración 4.12. Módulo medioambiental. Disponibilidad de agua y emisiones. ....	43
Ilustración 4.13. Módulo medioambiental. Elementos singulares. ....	43
Ilustración 4.14. Módulo vivienda y urbanismo. ....	46
Ilustración 4.15. Módulo transporte y comunicaciones. Elaboración propia.....	47
Ilustración 4.16. Módulo cultural. Elaboración propia.....	49
Ilustración 4.17. Módulo valores y capital social. Elaboración propia. ....	50
Ilustración 4.18. Módulo servicios sociales. Elaboración propia.....	51
Ilustración 4.19. Módulo de atractivos locales. Elaboración propia.....	56
Ilustración 4.20. Base de datos Excel. Elaboración propia. ....	57

## Índice de ecuaciones

Ecuación 3.1. Cálculo matemático stock, caso general. ....	16
Ecuación 3.2. Cálculo matemático stock, caso población. ....	16
Ecuación 4.1. Población C1-2, C3-10, C11-16, C17-24, C25-44, C45-64. ....	31
Ecuación 4.2. Población C0. ....	31
Ecuación 4.3. Población C65+. ....	31
Ecuación 4.4. Demanda educativa. ....	32
Ecuación 4.5. Oferta educativa. ....	32
Ecuación 4.6. Demanda sanitaria centros de salud y especialidades. ....	34
Ecuación 4.7. Demanda sanitaria residencias de ancianos. ....	34
Ecuación 4.8. Capacidad de atención centros de salud y especialidades. ....	34
Ecuación 4.9. Economic production sectores i), ii) y iii).....	36
Ecuación 4.10. Producción económica sectores iv), v), vi) y vii). ....	36
Ecuación 4.11. Trabajadores necesarios. ....	37
Ecuación 4.12. Población activa. ....	37
Ecuación 4.13. Distribución trabajadores locales. ....	37
Ecuación 4.14. Trabajadores externos. ....	37
Ecuación 4.15. Tasa de paro. ....	37
Ecuación 4.16. Ganancias. ....	38
Ecuación 4.17. Tasa de ganancias. ....	38
Ecuación 4.18. Alternativa salarios.....	39
Ecuación 4.19. Demanda de tierra agrícola, ganadera y energética. ....	40
Ecuación 4.20. Demanda de tierra urbana. ....	40
Ecuación 4.21. Reparto de tierras. ....	40
Ecuación 4.22. Consumo doméstico de agua.....	42
Ecuación 4.23. Consumo industrial, ganadero y energético de agua. ....	42
Ecuación 4.24. Consumo agrícola, de secano y regadío, de agua. ....	42
Ecuación 4.25. Agua reutilizable total. ....	42
Ecuación 4.26. Emisiones domésticas. ....	42
Ecuación 4.27. Emisiones industriales, ganaderas y energéticas. ....	42
Ecuación 4.28. Emisiones agrícolas de secano y regadío.....	42
Ecuación 4.29. Emisiones totales. ....	43
Ecuación 4.30. Valor stock agua disponible. ....	44
Ecuación 4.31. Necesidad de viviendas. ....	45
Ecuación 4.32. Indicador guarderías. ....	52
Ecuación 4.33. Indicador listas de espera. ....	53
Ecuación 4.34. Indicador residencias de ancianos. ....	53
Ecuación 4.35. Indicador nivel de salarios.....	53
Ecuación 4.36. Indicador tasa de empleo. ....	53
Ecuación 4.37. Indicador área natural. ....	53
Ecuación 4.38. Indicador elementos singulares. ....	53
Ecuación 4.39. Indicador asociaciones. ....	54
Ecuación 4.40. Indicador servicios sociales.....	54

Ecuación 4.41. Indicador transporte. ....	54
Ecuación 4.42. Indicador comunicaciones.....	54
Ecuación 4.43. Indicador cultural. ....	54
Ecuación 4.44. Indicador porcentaje de ocupación. ....	55
Ecuación 4.45. Indicador precio por m2. ....	55
Ecuación 4.46. Función GET XLS CONSTANTS.....	58



## Índice de tablas

Tabla 4.1. Relaciones entre módulos. ....	27
Tabla 4.2. Ponderación indicadores educativos. ....	52
Tabla 4.3. Ponderación indicadores sanitarios. ....	53
Tabla 4.4. Ponderación indicadores económicos. ....	53
Tabla 4.5. Ponderación medioambiental. ....	54
Tabla 4.6. Ponderación social. ....	54
Tabla 4.7. Ponderación transporte y comunicaciones. ....	54
Tabla 4.8. Ponderación cultural. ....	55
Tabla 4.9. Ponderación servicios. ....	55
Tabla 4.10. Ponderación vivienda. ....	55
Tabla 5.1. Tasa de paro local, trabajadores locales y trabajadores externos. ....	64
Tabla 5.2. Prioridades sobre la distribución de los usos de la tierra. ....	65
Tabla 5.3. Valor componentes de atractivos locales y su ponderación para C65+ en el año 2022. ....	67

## Índice de gráficos

Gráfico 5.1. Evolución población.....	60
Gráfico 5.2. Evolución educación infantil y primaria. ....	61
Gráfico 5.3. Evolución profesores educación infantil y primaria. ....	62
Gráfico 5.4. Evolución centros de salud. ....	62
Gráfico 5.5. Evolución producción económica total. ....	63
Gráfico 5.6. Evolución sector ganadero.....	64
Gráfico 5.7. Evolución sector agrícola. ....	65
Gráfico 5.8. Evolución del suelo agrícola.....	66
Gráfico 5.9. Evolución indicadores de empleo y uso de la tierra natural.....	66
Gráfico 5.10. Evolución componentes del atractivo local. ....	67
Gráfico 5.11. Evolución atractivo local para la cohorte C65+. ....	68



## 1. Introducción

El actual Trabajo Fin de Grado pretende contribuir a la toma de decisiones en materia de despoblación en España. Esta problemática que, históricamente y hasta un pasado no excesivamente lejano, ha sido tratada desde una visión poco crítica y carente de preocupación. Así, constantes flujos migratorios hacia las áreas urbanas han sido ocasionados, provocando como consecuencia desequilibrios demográficos. Prueba de este desequilibrio demográfico es que, hoy en día, el 13% de la población española se reparte entre más del 53% del territorio (Cruz Roja, n.d.). Otro argumento aportado por María Cisneros (Cisneros, 2022) reafirma este fenómeno, destacando que el 87.3% del territorio se encuentra despoblado.

Diversos motivos podrían justificarse para abordar este problema. En primer lugar, al haber diagnosticado las desigualdades y diferencia de oportunidades en favor de la población urbana frente a la rural. Una población rural que en ocasiones no dispone ni siquiera de servicios médicos mínimos en su localidad de residencia. Por otra parte, el segundo motivo surge desde un punto de vista de aprovechamiento de los recursos. Esto se debe a que la mayor parte de estos territorios se encuentran infrautilizados, pudiéndose obtener una rentabilidad considerable, ya sea social o económica, a partir de inversiones moderadas.

Para abordar este problema se ha utilizado la perspectiva ingenieril y la herramienta de modelado y simulación de sistemas basada en dinámica de sistemas, a partir de los conocimientos que aportan al proyecto de investigación expertos de otras áreas de conocimiento.

### 1.1 Marco del TFG

El TFG se encuentra contextualizado dentro del proyecto “*Spanish Demographics Dynamics Assessment Model*”, de aquí en adelante SPANDAM (Fresno Consulting Group, 2022), que coordina el Grupo de Investigación Reconocido de Energía, Economía y Dinámica de Sistemas, GIR – GEEDS (GEEDS, 2022) perteneciente a la Universidad de Valladolid.



Ilustración 1.1. Logo SPANDAM. FRE.

Resulta necesario contextualizar que SPANDAM es un proyecto con el objetivo principal de elaborar una herramienta a través de la dinámica de sistemas que

facilite la toma de decisiones a los organismos públicos en el reto frente a la despoblación en España. Éste se encuentra dirigido por el profesor Juan José Mediavilla, responsable de la coordinación de seis socios nacionales entre los que se encuentran las universidades de Valladolid (UVa), Salamanca (USAL) y Zaragoza (UNIZAR), así como el Centro de Estudios Demográficos de Barcelona (CED), CARTIF y Fresno Consulting Group (FRE). El proyecto se encuentra subvencionado por la Unión Europea a través de la Agencia Estatal de Investigación (AEI).

El TFG consiste en la elaboración de un primer modelo a través del software VENSIM DSS, alrededor del cual se apliquen las posteriores mejoras oportunas durante los más de dos años restantes de proyecto. Este modelo está asociado al paquete de trabajo “WP6 - Model Development”, habiéndose colaborado en las tareas “Task 6.1. - Reference demographic model for the 17 autonomous communities of Spain” y “Task 6.2. - Local development model”.

A mayores, dentro del grupo GEEDS, he sido tutorizado por Luis Javier Miguel González, profesor del departamento de Ingeniería de Sistemas y coordinador de GEEDS, así como por los estudiantes predoctorales e investigadores ligados a SPANDAM: Luis Llases y Gonzalo Parrado. También se ha contado con la aportación de los diferentes socios del proyecto en aquellas tareas del proyecto que pudieran haber sido consultadas durante la realización del modelo.

## **1.2 Justificación y motivación**

Antes de comenzar a desarrollar en detalle el modelo, considero oportuno justificar previamente las razones por las cuales decidí escoger dicho tema, aparentemente más relacionado con la demografía que al ámbito ingenieril.

Si bien es verdad que la ingeniería ha estado ligada históricamente al ámbito industrial y empresarial, existen aplicaciones de esta que pueden repercutir en aspectos sociales.

En este caso, he decidido intentar aportar en un tema del que soy conocedor en primer plano y por el cual tengo verdadera conciencia: la despoblación rural.

## **1.3 Objetivos**

Para una comprensión total del modelo es necesario introducir primero los objetivos ligados al TFG que han sido perseguidos durante el tiempo de realización de este trabajo, siendo algunos de estos son consecuencia del proyecto de investigación al que se adscribe.

Los objetivos, en orden de prioridad, son los siguientes:

1. Desarrollo de un primer prototipo de herramienta robusta a pequeña escala que pueda orientar la toma de decisiones y políticas públicas, ayudando a combatir las desigualdades demográficas, socioeconómicas y medioambientales en regiones afectadas por la despoblación (GEEDS, 2021).

2. Construir un modelo basado en la metodología de dinámica de sistemas que describa las causas fundamentales de los cambios demográficos, así como de las migraciones internas, para diferentes tiempos de proyección.
3. Aplicar el modelo construido al caso de estudio de los Arribes del Duero (Castilla y León), así como valorar la estabilidad y buen comportamiento del modelo de simulación para datos de prueba.
4. Proponer aspectos de mejora de cara a futuro que puedan resultar de utilidad en la posterior depuración del modelo.

En cualquier caso, y dado que los datos que se utilizarán para este prototipo no son reales, los resultados obtenidos no serán de aplicación directa al caso de estudio.

## **1.4 Hipótesis generales**

A su vez, las hipótesis generales tomadas previo comienzo del TFG fueron:

1. Viabilidad de construir un modelo que refleje la realidad con las características expuestas anteriormente en un tiempo de modelización de dos meses.
2. Acogida en las líneas de trabajo e instalaciones del GIR – GEEDS, así como la posibilidad de consulta a algunos de sus investigadores en caso de necesidad.
3. Colaboración en caso de necesidad de cualquiera de los cinco socios restantes del proyecto.
4. Consulta de modelos a mayor escala que sirvan de referencia en áreas relacionadas con lo que el proyecto demanda.
5. Relaciones de causalidad entre variables consultadas con expertos, ya sean referentes a la metodología de dinámica de sistemas, economía, demografía etc.
6. Acceso bases de datos fiables y precisas para la alimentación del modelo.

## **1.5 Consideraciones sobre la memoria**

Algunas de las consideraciones asumidas para la redacción de la presente memoria han sido:

Dada la financiación del proyecto por la Unión Europea el modelo se ha construido en inglés, por lo que al citar variables en los apartados que lo requieran se realizará en dicho idioma, siendo la única excepción al español.

Algunas de las decisiones referidas a plazos, características, módulos que componen el modelo, metodología o software han sido marcadas por las especificaciones del proyecto SPANDAM. Esto conllevará que la memoria vea reflejadas algunas de ellas. Fuera de estas limitaciones se encuentran obviamente

la libertad en la toma de decisiones sobre el modelado en su conjunto, análisis e interpretación de resultados, selección de los parámetros cuya validación resulta de mayor importancia o la redacción y estructuración de la memoria.

## **1.6 Estructura de la memoria**

La memoria restante se estructurará como sigue: en el segundo capítulo se describirá el problema al cual se pretende hacer frente, entrando de manera breve en los motivos y consecuencias de la despoblación, así como sobre los aspectos positivos de una descentralización poblacional. Posteriormente, en el tercer capítulo, se detallará la metodología de dinámica de sistemas y el software utilizado durante la modelización. El cuarto capítulo se centrará en una descripción meramente teórica del modelo, explicando los diferentes módulos que componen el modelo, su funcionamiento, relaciones entre variables y ecuaciones más relevantes. A continuación, en el capítulo cinco, se expondrán, analizarán y discutirán los resultados obtenidos. Finalmente, el capítulo siete contendrá las conclusiones del presente Trabajo Fin de Grado en su conjunto.

A mayores, y tras la bibliografía, existe un anexo adicional. Este contiene un resumen de los datos generales del modelo, siendo estos una selección de la descripción generada a través de la herramienta SMD-Doc.

## 2. Descripción el problema

### 2.1 Definiciones

Inicialmente, y para una contextualización correcta considero necesario introducir los siguientes dos conceptos:

En primer lugar, considérese como reto demográfico (Ministerio para la Transición ecológica y el Reto Demográfico, n.d.) aquella *“idea compleja que engloba numerosas dimensiones de la población, referidas tanto a la estructura de la pirámide, como a la localización o a las condiciones de vida”*.

En segundo lugar, entiéndase como despoblación (Pinilla & Sáez, 2017) el proceso demográfico y territorial, en este caso local, mediante el cual una región ve disminuidos sus habitantes con respecto a un periodo anterior en el tiempo. Esta disminución puede deberse a tres casuísticas fundamentales:

- **Incremento vegetativo negativo.** Desequilibrio en el cual las defunciones en la región superan a los nacimientos en un periodo de tiempo dado.
- **Migraciones negativas.** Desequilibrio en el cual las emigraciones en la región superan a las inmigraciones en un periodo de tiempo dado.
- **Combinaciones de los puntos anteriores.** Tales que el sumatorio de defunciones y emigraciones supere al de nacimientos e inmigraciones en un periodo de tiempo dado.

### 2.2 Contexto español

En el caso español existe además una problemática a mayores como es el envejecimiento de la población rural (GEEDS, 2021). Una población cuya vida media asciende en el tiempo está avocada a la despoblación, dado que no resulta especialmente complejo justificar la relación directa entre dicho envejecimiento, el descenso de la natalidad y el aumento de la tasa media de mortalidad anual.

De manera más concreta, las Comunidades Autónomas que experimentan ese descenso en la población están situadas generalmente en el centro-norte de la península, destacando especialmente Aragón, Castilla y León, Castilla la Mancha o Asturias.

Es preciso destacar que, aunque se haga referencia de manera continua a los términos despoblación y reto demográfico, España ha experimentado según datos del INE un aumento en su población del 18,5%<sup>1</sup> desde 1998, aproximadamente

---

<sup>1</sup> 18.5% = (47.385.107 - 39.852.651) / 39.852.651



8,5 millones de habitantes, desde los 39.852.651 en 1998 (INE, 1998) hasta los 47.385.107 en 2021<sup>2</sup> (INE, 2021c).

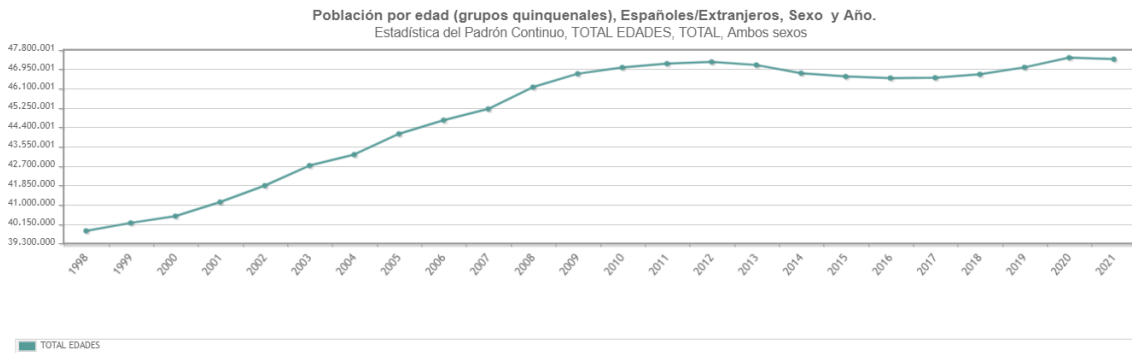


Ilustración 2.1. Población histórica en España (1998 - 2021). INE.

Si bien dicho crecimiento a lo largo del siglo XXI es notable, también es cierto que durante los últimos años predomina un asentamiento entorno a los 47 millones de personas con leves fluctuaciones, positivas o negativas, alrededor de dicho valor.

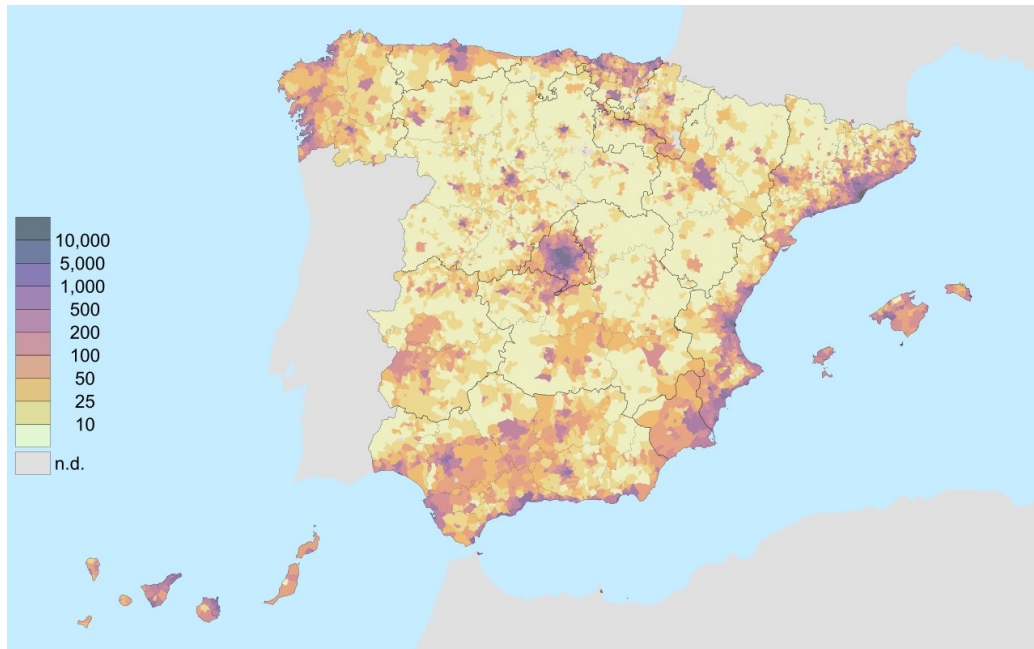


Ilustración 2.2. Mapa densidad población España (2019). Wikipedia: Dieghernan84.

Ante este crecimiento histórico poblacional, y sin el conocimiento de la situación demográfica actual española, serían posibles diferentes escenarios entre los que presumiblemente dominarían aquellos en los que la densidad de población aumentase salvo excepciones puntuales.

En la Ilustración 2.2 (Dieghernan, 2020), se puede visualizar la distribución en cuanto a densidad de población española se refiere para el año 2019.

<sup>2</sup> Datos del 2021. INE publica datos a año vencido.

En esta se pueden apreciar verdaderos desequilibrios demográficos, los cuales permanecen en la actualidad, sin atisbos de cambio al menos en un futuro cercano.

Se desmarcan de esta dinámica las islas Canarias y Baleares adoptando una distribución de población de carácter prácticamente homogéneo, así como Andalucía en cierta medida. Existen excepciones razonables si se atienden al contexto geográfico como podría ser ejemplo la zona del Teide, la cual presenta una densidad de población inferior a la de las que la rodean.

En general, destacan concentraciones alrededor de las capitales de provincia, especialmente capitales autonómicas, o bien en torno a regiones con actividades económicas que despuntan en relación con las de sus alrededores. Son ejemplos Madrid, Barcelona, Zaragoza, Valencia, Oviedo, Murcia o Sevilla.

### 2.3 Causas subyacentes

Si bien en el subcapítulo 2.1 ya se han mencionado a través de las alternativas i), ii) y iii) los motivos de situaciones de despoblación, resulta preciso destacar cuales son las causas que subyacen tras ese desequilibrio negativo.

Diferentes autores han escrito acerca de esta temática, convergiendo en su mayoría hacia los motivos económicos, demostrando una correlación clara entre migraciones y variables socioeconómicas (GEEDS, 2021).

Algunos investigadores señalan las tendencias capitalistas y el boom industrial español (Renau, 2018) como la génesis de la problemática.

Tal y como expresaron de manera conjunta Luis Antonio Sáez, Vicente Pinilla y María Isabel Ayuda, los cuales han dedicado parte de su carrera investigadora a la despoblación con multitud de artículos y publicaciones en revistas reconocidas, en ocasiones la propia situación de partida (Silvestre Rodríguez, 2000) marcó el desarrollo posterior en ausencia de medidas que lo revertieran:

*“Su situación de partida las hacía menos competitivas que otras áreas del mismo país o región, por lo que solían entrar en una dinámica degenerativa ya desde el principio del proceso modernizador debido a que, como consecuencia de unas menores oportunidades de negocio y empleo, y, en definitiva, de lograr ingresos comparables, la población emigraba y el ahorro se canalizaba hacia las zonas urbanas donde radicaban los sectores más productivos y rentables” (Sáez Pérez et al., 2001).*

Otros, debido a sus propias vivencias, destacan el cambio sobre los objetivos personales a lo largo de los años. Antiguamente el grueso de la población perseguía la estabilidad en la construcción de un núcleo familiar amplio. Por el contrario, hoy en día parte de la población ha evolucionado esas metas hacia la búsqueda de un

mayor desarrollo personal y profesional, conllevando esto migraciones hacia regiones con mayores posibilidades.

## 2.4 Políticas contra la despoblación

Hoy en día, en pos de combatir esas desigualdades territoriales y con el objetivo de brindar unas oportunidades equitativas al total de la población española, existen diferentes posibilidades. Estas opciones se centran en políticas y planes de acción, cada una de ellas en búsqueda de un objetivo diferente.

Según el informe de Sáez Pérez, si realmente se pretende combatir el reto demográfico para el caso español, deberá adoptarse un cambio de planteamiento político. De esta manera, se debería de interrumpir las medidas cortoplacistas, iniciando una transformación hacia otras más holísticas pensando en impactos positivos a largo plazo.

### 2.4.1 Clasificación

Atendiendo a una primera clasificación se pueden observar tres categorías (Sáez Pérez et al., 2001) en función de su finalidad:

- **Políticas hacia un aumento de la natalidad.** Las cuales deberán focalizarse en tres flancos: i) económico y laboral, ii) vivienda y iii) calidad de vida.
- **Políticas hacia una reducción del envejecimiento.** Estas pretenden aumentar la calidad de vida en términos físicos o biológicos. Algunas de sus dimensiones son la integración social y afectiva o la movilidad geográfica de la población. Están centradas en dos áreas principales: i) garantizar unos servicios públicos adecuados a las necesidades y ii) facilitar la movilidad geográfica hacia las zonas rurales.
- **Políticas hacia saldos migratorios positivos.** En este caso Abu-Warda (Abu-warda, 2008) sugiere dos clasificaciones. La primera de ellas en función de su lugar de origen: i) migraciones internas o externas. Por su parte, la segunda es dependiente de la duración de dichas migraciones: ii) temporales o definitivas. Otras políticas podrían basarse en favorecer la integración social de los inmigrantes mediante el acceso a vivienda o sanidad, o bien a través del efecto *communting* entre los lugares de trabajo y residencia.

Por otra parte, a partir de una segunda clasificación se podría clasificar en tres niveles según la institución que las promueva:

- **Ámbito europeo.** A través de la Comisión Europea de Política Regional, mediante el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) y el Fondo Social Europeo (FSE) (Comisión Europea, n.d.).

- **Ámbito nacional.** A través del Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, n.d.).
- **Ámbito autonómico.** A través de los respectivos gobiernos autonómicos. En el caso de Castilla y León, mediante legislación con finalidad de desarrollo rural integrado en su Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Local (Junta de Castilla y León, n.d.).

Sobre dichas políticas, independientemente de su clasificación, se deben cumplir una serie de adecuaciones previas. Serán siempre contextualizadas al caso de estudio sobre el que se apliquen. Además, se garantizará la equidad sobre la población objeto de dicha política, evitando caer en cualquier tipo de discriminación económica o sociológica.

### 2.4.2 Caso español

Desde el punto de vista gubernamental, en España existe la llamada Agenda del Cambio, aprobada en 2019 y la cual, a partir de 130 medidas (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020), tiene como labor conseguir una reducción sobre la desigualdad y garantizar el Estado del Bienestar.

Algunos de sus ejes principales son:

- |  |   |
|--|---|
| i. Transición ecológica                        | ii. Desarrollo e innovación                     |
| iii. Conectividad territorial y digitalización | iv. Servicios públicos y descentralización      |
| v. Emprendimiento y actividad empresarial      | vi. Bienestar social y economía de los cuidados |
| vii. Turismo sostenible                        | viii. Promoción de la cultura                   |
| ix. Igualdad de derechos                       | x. Reformas normativas                          |

En cuanto a las medidas de mayor efectividad dependerán del contexto al que se aplique.



## 3. Metodología utilizada

La metodología escogida para la realización del modelado, así como la principal del proyecto, se encuentra fundamentalmente basada en la dinámica de sistemas.

### 3.1 Dinámica de Sistemas

#### 3.1.1 Introducción

Sus comienzos se encuentran ligados a la teoría general de los sistemas de Ludwig Von Bertalanffy (Bertalanffy, 1968), poco antes de mediados del siglo XX. Posteriormente, diferentes investigadores continuaron profundizando en el área, hasta ser hoy en día una de las teorías fundamentales en el mundo científico con un amplio abanico de aplicaciones.

A partir de las bases asentadas en sus inicios, la dinámica de sistemas puede definirse como aquella metodología utilizada con fines interdisciplinares con el objetivo de, a través de proyecciones en el tiempo, permitir al usuario comprender el comportamiento deseado, ya sea de un sistema en su conjunto o bien de ciertas variables específicas, de manera que se facilite la toma de decisiones a través de la interpretación de resultados.

Es importante destacar que los modelos de dinámica de sistemas permiten simular diversos escenarios, así como múltiples políticas.

La dinámica de sistemas aplica el enfoque sistémico de la ciencia clásica (Mediavilla & Miguel, 2021). De esta manera, analiza los subsistemas a partir de la repetitividad sobre los experimentos, buscando las causas responsables del efecto. El objeto de investigación en multitud de ocasiones no reside en la causa o el efecto, sino esa transición causa – efecto de la cual es oportuno conocer sus circunstancias asociadas (Mediavilla & Miguel, 2021).

Para resumir, la dinámica de sistemas es la metodología utilizada para el desarrollo de un modelo local, mostrando el comportamiento temporal del sistema en escenarios complejos (GEEDS, 2021) a partir de relaciones, positivas o negativas, y bucles, reforzantes o estabilizantes, entre elementos (Sternman, 2004).

#### 3.1.2 Elementos

Algunos de los elementos fundamentales (Aracil, Javier; Gordillo, 1997) de la dinámica de sistemas precisan ser explicados previamente al capítulo 4, en el cual se llevará a cabo la descripción del modelo.

- **Sistema.** Agrupación conjunta de elementos y las interacciones que se forman entre ellos, de manera que se genere un sistema como unidad. Presenta complejidad dadas las relaciones entre sus partes. Ejemplo: sistema demográfico local.

- **Condiciones de contorno.** Barreras que delimitan el sistema y las relaciones entre sus diferentes partes. Las condiciones de contorno pueden deberse a delimitaciones físicas, legislativas, económicas o cualquier otro criterio o combinación de estos que delimiten el sistema. Ejemplo: límites geográficos de la comarca de los arribes del Duero.
- **Modelo.** Objeto que representa a otro pretendiendo describir un fenómeno o conjunto de ellos. Por lo tanto, se tendrán en cuenta solo aquellos elementos que el modelador considere relevantes con respecto al sistema a estudiar. Ejemplo: SPANDAM.mdl.
- **Caso de estudio.** Contexto general al que se aplica el modelo. Viene determinado por las condiciones de contorno. Ejemplo: Arribes del Duero.
- **Escenario.** Suposiciones cuantificadas para diferentes futuros posibles (Cisneros, 2022). Ejemplo: la mortalidad anual durante los próximos 10 años tomará valores de 50 defunciones por cada 1.000 habitantes al año.
- **Política.** Plan de acción aplicado al modelo con el objetivo de evaluar su eficacia acorde a unos objetivos dados. Ejemplo: aumento del 5% sobre la natalidad debido a subvenciones del estado.
- **Variables.** Atributo medible que puede cambiar de valor a lo largo de la simulación. Ejemplo: mortalidad.
- **Stock.** Variable cuyo valor viene determinado por el inmediatamente anterior y sus variaciones temporales o flujos. Se corresponde con el sumatorio de su valor inmediatamente anterior y la integral de sus variaciones temporales. Presenta carácter acumulativo. Ejemplo: población.
- **Flujo.** Variación temporal de un stock. Ejemplo: nacimientos.

Todos estos elementos han estado presentes en la etapa de modelado, siendo imprescindible su conocimiento.

### 3.1.3 Usos de la dinámica de sistemas en la actualidad

Hoy en día, la dinámica de sistemas es utilizada en multitud de áreas que abarcan desde la investigación científica hasta el asesoramiento a gobiernos nacionales.

Atendiendo a una clasificación sencilla propuesta por Juan Martín García (Martín García, 2006) estos usos se pueden clasificar en tres ámbitos:

- **Ámbito empresarial.** Por ejemplo, en problemas industriales, gestión de proyectos, gestión de la producción o recursos humanos.
- **Ámbito medio ambiental.** Ante el cambio climático o de necesidad de recursos materiales.

- **Ámbito social.** En usos como en el derecho o ante la despoblación como es el caso de SPANDAM.

En definitiva, la dinámica de sistemas es aplicable a una amplia cantidad de áreas de conocimiento, dotándola de esta manera de un carácter interdisciplinar.

Es preciso destacar que todas estas aplicaciones tienen una parte común, la proyección temporal de sus respectivos modelos para un escenario dado, y bajo la posibilidad de evaluar la viabilidad de políticas en función del objetivo marcado.

### 3.1.4 Diagrama causal o relacional

El diagrama causal es utilizado en la dinámica de sistemas para la representación de sistemas. Se entiende el diagrama causal (Martin Garcia, 2003) como “*un diagrama que recoge los elementos clave del Sistema y las relaciones entre ellos*” (Zamora Verdejo, 2021).

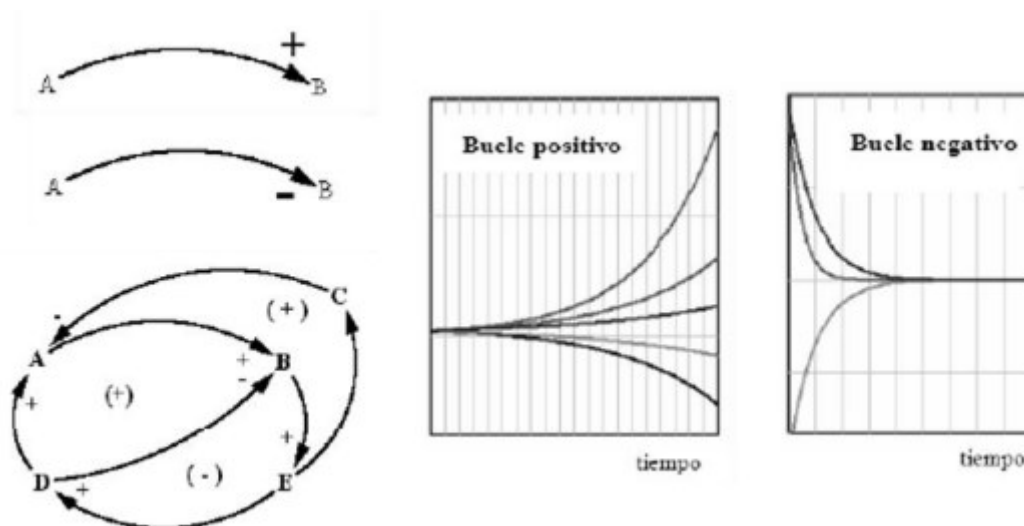


Ilustración 3.1. Diagramas causales y bucles. TFG Elena Zamora.

De esta manera, a través de los diagramas causales, se pueden representar relaciones positivas y negativas tal y como aparece en la esquina superior izquierda de la Ilustración 3.1 (Zamora Verdejo, 2021).

- **Relaciones positivas o directas.** Aquellas en las que un aumento de la variable 1 conlleva otro aumento sobre la variable 2 con la cual presenta relación. De igual manera, un decremento en la variable 1 conlleva una disminución en la variable 2. Ejemplo: a mayor tasa de natalidad mayores nacimientos.
- **Relaciones negativas o indirectas.** Aquellas en las que un aumento de la variable 1 conlleva un decremento sobre la variable 2 con la cual presenta relación. De igual manera, un decremento en la variable 1 conlleva un



aumento en la variable 2. Ejemplo: a mayor tasa de mortalidad menor población.

Cabe destacar que en ocasiones la relación entre las variables 1 y 2 no es instantánea, sino que se requiere del transcurso de un cierto tiempo, normalmente denominado retardo, necesario para poder observar las consecuencias de dicha relación.

En el momento en que una serie de relaciones entre variables acaban cerrando el ciclo sobre la variable origen, se forma un ciclo. Existen dos tipos de bucles (Sterman, 2004), reforzantes o estabilizantes, tal y como se ve en la parte derecha de la Ilustración 3.1 (Zamora Verdejo, 2021).

- **Bucles positivos o reforzantes.** Aquellos en los que la resultante de las relaciones causales resulta ser negativa. De esta manera, los bucles reforzantes provocan crecimiento exponencial, positivo o negativo. Ejemplo: a mayores gallinas mayores huevos, a mayores huevos mayores gallinas etc. (Sterman, 2004).
- **Bucles negativos o estabilizantes.** Aquellos en los que la resultante de las relaciones causales resulta ser positiva. De esta manera, los bucles negativos tienden a autorregularse por sí mismos. Ejemplo: a mayores gallinas menor espacio por gallina, a menor espacio por gallina menores gallinas, a menores gallinas mayor espacio por gallina, a mayor espacio por gallina mayores gallinas etc. (Sterman, 2004).

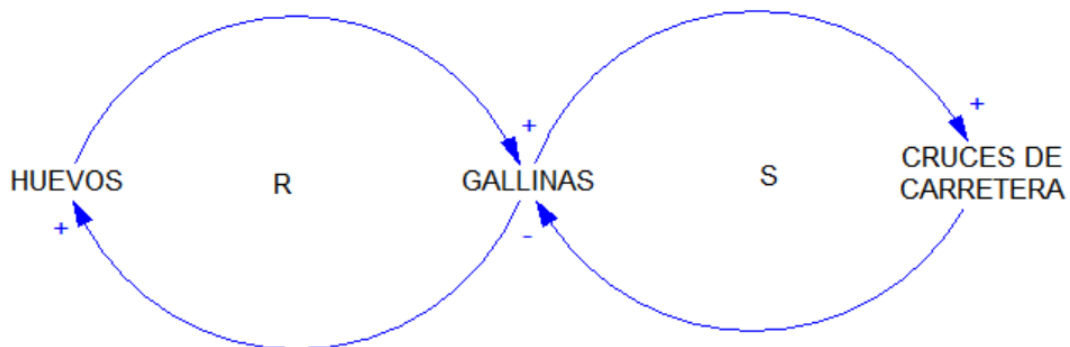


Ilustración 3.2. Combinación de bucles reforzantes y estabilizantes. (Sterman, 2004).

En algunos casos, tal y como se aprecia en la Ilustración 3.2 (Sterman, 2004), puede llegarse a dar el caso en que un bucle se combine con otro de diferente carácter. En estos casos la evolución dinámica del sistema aumenta su complejidad relacional.

Aplicado al proyecto SPANDAM, su diagrama causal aparece reflejado en la Ilustración 3.3.

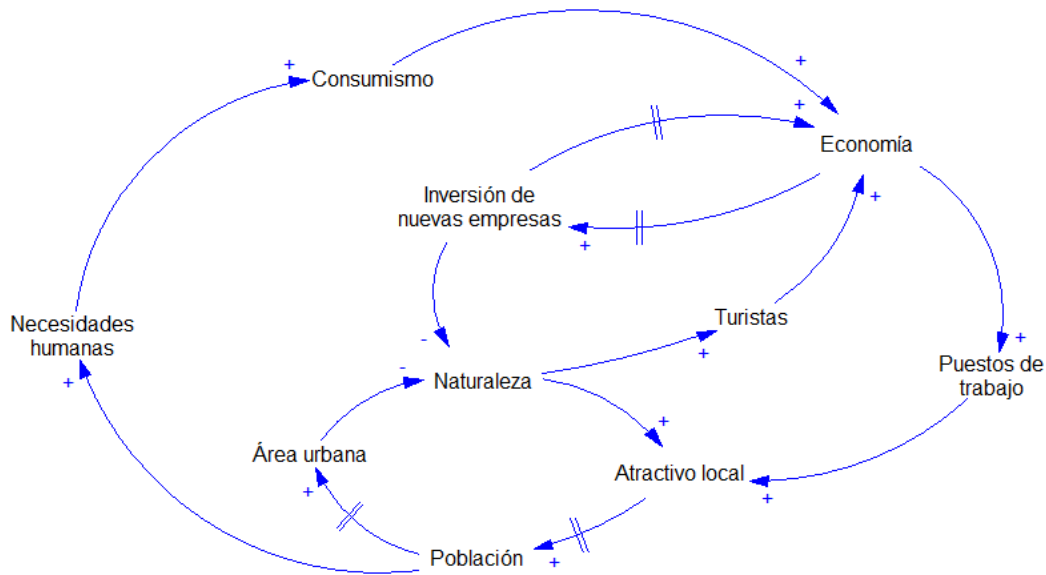


Ilustración 3.3. Diagrama causal SPANDAM. Elaboración propia (VENSIM).

En este, es visible la existencia de bucles reforzantes y estabilizantes.

Un ejemplo de bucle reforzante es aquel en el que una mejora en la economía genera puestos de trabajo, aumentando así el atractivo local, por lo que la población de la región crecería a través movimientos migratorios en busca de oportunidades laborales, provocando este aumento de la población un aumento de las necesidades humanas, que favorecería el consumo, cerrándose otra vez el ciclo con mejoras sobre la economía. De esta manera, si estas fueran las únicas relaciones a tener en cuenta, la población crecería exponencialmente.

Un ejemplo de bucle estabilizante es aquel en el que a mayor población mayor área urbana, reduciéndose la naturaleza de la región y por lo tanto depreciándose el atractivo local de la zona, que podría originar emigraciones hacia lugares con menor congestión urbana.

### 3.1.5 Diagrama de flujo

Los diagramas de flujo (Martin Garcia, 2003) son entendidos como “una traducción del diagrama causal a una terminología que permite la escritura de las ecuaciones en el ordenador para así poder validar el modelo, observar la evolución temporal de las variables y hacer análisis de sensibilidad” (Zamora Verdejo, 2021).

Los diagramas de flujo están compuestos por los elementos definidos en el subcapítulo “3.1.2 Elementos”: stock, flujo y variables, así como por los retardos ya mencionados en el subcapítulo “3.1.4 Diagrama causal”.

Siguiendo con un ejemplo propio de SPANDAM, tal y como se ve en la Ilustración 3.4, el stock se correspondería con la población al presentar carácter acumulativo,

sus flujos con nacimientos y muertes, y finalmente las variables auxiliares con las tasas de natalidad o mortalidad.

Además, podría entenderse como retardo el periodo de embarazo previo a cualquier nacimiento.

Cabe destacar que la ecuación, de manera general, que determina el valor de un stock en cada instante de tiempo ( $t$ ) viene dada por la Ecuación 3.1.

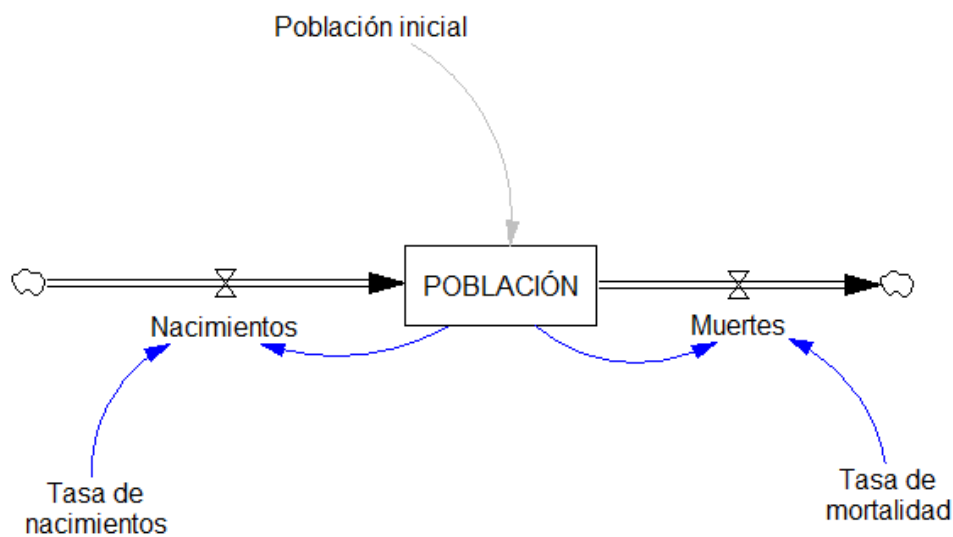
$$Stock_t = Stock_{t-1} + \int \sum Flujos\ positivos_t - \sum Flujos\ negativos_t dt$$

*Ecuación 3.1. Cálculo matemático stock, caso general.*

Para el caso particular del ejemplo dado, el cálculo sería el expresado en la Ecuación 3.2.

$$Población_t = Población_{t-1} + \int Nacimientos_t - Muertes_t dt$$

*Ecuación 3.2. Cálculo matemático stock, caso población.*



*Ilustración 3.4. Diagrama de flujo. Elaboración propia (VENSIM).*

## 3.2 Software

Introducidos ya los conceptos de dinámica de sistemas y modelo, es oportuno mencionar el software utilizado: VENSIM DSS.

Cabe destacar que la decisión de utilizar VENSIM DSS, en su versión 9.1.1, y no otro software vino marcada por las directrices del proyecto. Debido a esto, no fue necesaria una primera etapa de investigación acerca del software más apropiado para la realización del modelado.

Además, a través de la asignatura Dinámica de Sistemas Complejos, cursada en el primer cuatrimestre del cuarto curso e impartida por profesores ligados a GEEDS, ya existió un primer contacto con dicho software, aunque en su versión académica.

### **3.2.1 Posibilidades y limitaciones**

VENSIM DSS habilita al usuario de manera idónea para el modelado en este caso concreto. Pese a esto, existen de manera general una serie de posibilidades y limitaciones.

Aquellas fortalezas más destacadas son:

- i. Usabilidad adecuada.
- ii. Posibilidad de plasmar relaciones complejas entre variables.
- iii. Posibilidad de importar datos desde Excel o bases de datos externas.
- iv. Posibilidad de exportar resultados a Excel o bases de datos externas.
- v. Posibilidad de superponer diferentes simulaciones.
- vi. Disponibilidad de funciones básicas.
- vii. Diferentes métodos de integración.

Los aspectos de mejora son:

- i. Mayor disponibilidad de funciones complejas.
- ii. Autocorrección de errores sencillos.
- iii. Limitaciones de cálculo para grandes volúmenes operacionales.

### **3.2.2 Interfaz**

El interfaz de VENSIM, apreciable en la Ilustración 3.5, permite diferenciar en diferentes vistas el conjunto del modelo, siendo esto idóneo para la separación en módulos (ejemplo: módulo demográfico, módulo educativo etc.). Los módulos en los que se subestructura el modelo serán explicados en el capítulo 4 de la memoria.

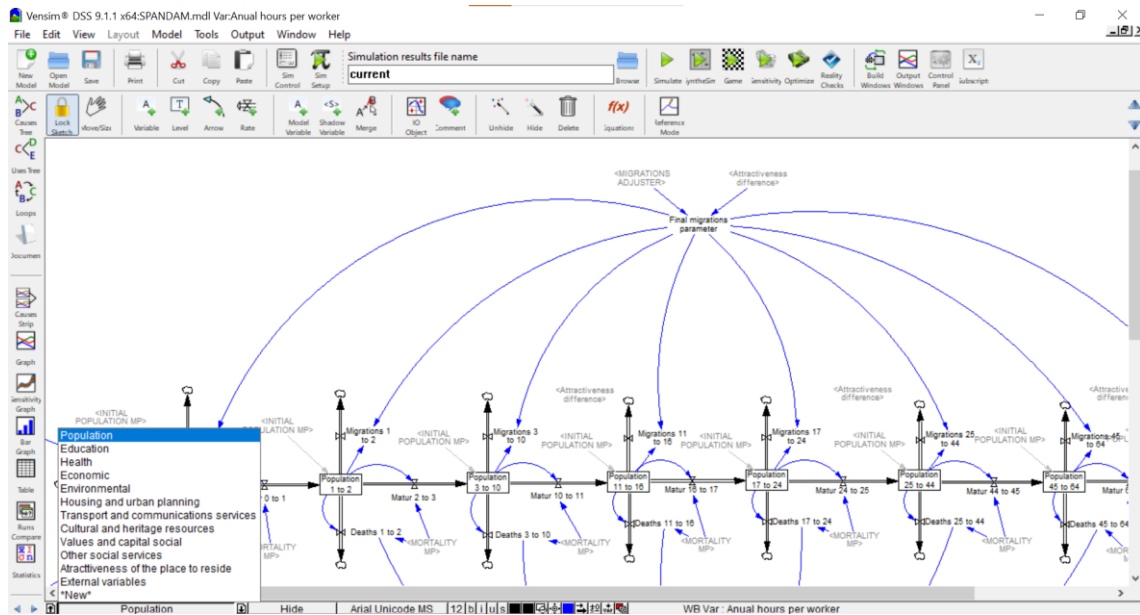


Ilustración 3.5. Interfaz VENSIM. Elaboración propia.

A mayores, en la Ilustración 3.6, se puede distinguir la representación gráfica de elementos clave como son stock, flujo y variable.

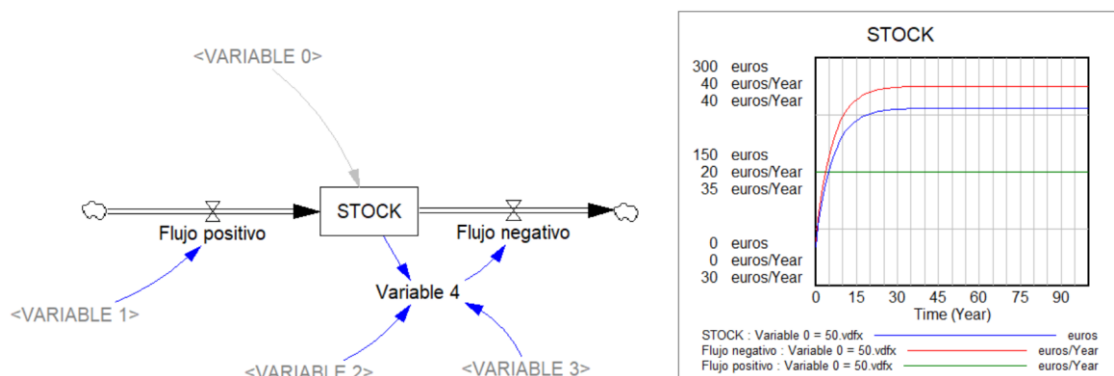


Ilustración 3.6. Interfaz VENSIM: stock, flujos y variables. Elaboración propia.

Sobre la misma Ilustración 3.6 se puede observar a mayores la gráfica que muestra la evolución temporal del stock y sus flujos positivo y negativo, de entrada y salida respectivamente.

En cuanto a variables, existen dos tipos claramente diferenciables desde el punto de vista del modelado. En primer lugar, aquellas endógenas cuyo valor depende de la dinámica del modelo, declaradas con la primera letra en mayúscula seguida de minúsculas. En contraposición, existen variables exógenas las cuales son asumidas como constantes o externas al modelo, y declaradas completamente en mayúsculas y en una vista nombrada como “*External variables*”.

Por último, cabe diferenciar entre variables y variables sombra, “*Variable 4*” y “*VARIABLE 0*” respectivamente. La única diferencia, aparte de estar representada

la segunda en un color gris frente al negro, es la declaración de la variable sombra en otra vista del modelo, habiéndola llamado desde la vista en la cual se tomó la ilustración 3.6.

### 3.3 Modelos consultados

Existen una serie de modelos previos al elaborado que tratan directamente la problemática de la despoblación, tanto a nivel regional, nacional o internacional. Otros, sin centrarse en un objetivo principal demográfico, presentaban estructuras o módulos de interés para el modelado de SPANDAM. Si bien la mayor parte de los módulos han resultado ser una elaboración propia, algunos de estos modelos han servido como referencia para ciertos módulos.

Entre aquellos ligados a despoblación que fueron consultados destacan modelos gravitatorios de proyección regional (Wikeless & Drew, 1984).

Los modelos consultados ajenos a despoblación han sido:

- **ANEMI** (Akhtar, 2011). Modelo de un sistema social, económico y climático. Caso región Yangtze, China (Davies & Simonovic, 2010).
- **WILIAM** (de Blas Sanz et al., 2021). Modelo multirregional de evaluación de políticas efectivas hacia una sociedad baja en carbono. Caso global.
- **MEDEAS** (Capellán-Pérez et al., 2020). Modelo de escenarios de transición energética hacia un futuro bajo en carbono. Caso global y europeo.
- **MODESLOW** (Carpintero et al., 2021). Modelo de escenarios de transición energética hacia un futuro bajo en carbono. Caso español.
- **EUROGREENS** (Campigotto et al., 2022b). Modelo de escenarios de transición energética hacia un futuro bajo en carbono. Caso italiano y francés.

La elección de estos modelos se vio condicionada por su posibilidad de obtención, jugando el grupo GEEDS un papel importante dada su participación en el ii), iii) y iv).

También se profundizó sobre las claves en el modelado de la toma de decisiones migratorias (Bertoli & Moraga, 2017). A partir de esto se llegó a la conclusión de que, hasta la fecha, existen seis tipos (Klabunde & Willekens, 2016) diferentes de teorías:

- i. Teoría de decisiones desde la microeconomía.
- ii. Teoría de decisiones desde la psicología.
- iii. Teoría de decisiones desde el uso de heurísticas.

- iv. Desligarse de la teoría de decisiones en gran medida. El peso desprendido lo adquiere la observación directa de las circunstancias en las que se contextualiza cada decisión.
- v. Desligarse de la teoría de decisiones totalmente. El peso total lo adquiere la observación directa de las circunstancias en las que se contextualiza cada decisión.
- vi. Desligarse de la teoría de decisiones totalmente. El objetivo principal se centra en focalizar las relaciones entre individuos y sus reglas de comportamiento básicas, generando de esta manera patrones complejos en la toma de decisiones sobre el módulo demográfico.

En el caso particular de este TFG, la toma de decisiones migratorias se ha basado en las teorías iv) y vi).

Más concretamente, las migraciones son calculadas a través de la diferencia de atractivos entre la región de estudio y las potenciales regiones susceptibles. Estos atractivos presentan nueve dimensiones de interés entre las que destacan la dimensión económica, sanitaria, medioambiental etc. Cada dimensión será posteriormente ponderada por expertos sobre cada cohorte y género de edad.

## 4. Descripción del modelo

El modelo, aun siendo una parte fundamental de SPANDAM, no se corresponde con la totalidad del proyecto.

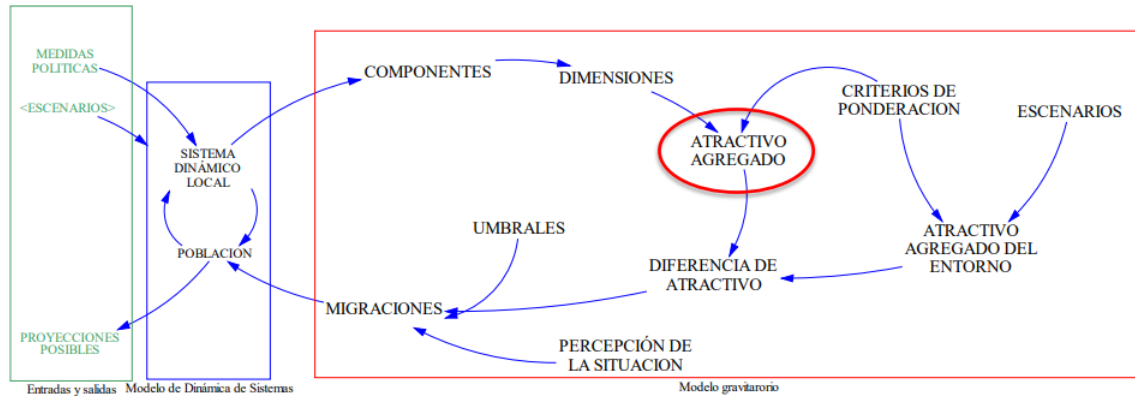


Ilustración 4.1. Estructura general SPANDAM. Ppt kick-off meeting SPANDAM.

A través de la Ilustración 4.1 (Miguel, 2021<sup>a</sup>) se puede apreciar cómo el modelo de dinámica de sistemas, en color azul, no es el único aspecto a trabajar durante el proyecto.

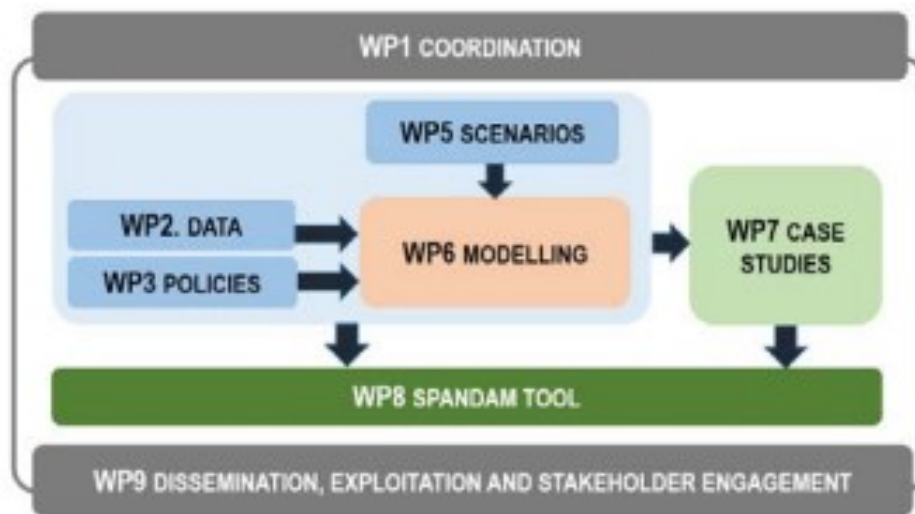


Ilustración 4.2. WP SPANDAM. Ppt kick-off meeting SPANDAM.

A mayores del modelado, existen otra serie de necesidades ajenas al modelado, como son las visibles en la Ilustración 4.2 (Miguel, 2021b), entre las que destacan:

- **Datos.** Recolección de datos en función del escenario elegido (WP2. DATA, liderado por CED<sup>3</sup>).
- **Políticas.** Las cuáles serán propuestas por expertos en la materia (WP3. POLICIES, liderado por UNIZAR<sup>4</sup>).

<sup>3</sup> Centro de Estudios Demográficos de Barcelona

<sup>4</sup> Universidad de Zaragoza



- **Indicadores.** Cuya elección será adecuada a cada dimensión del atractivo correspondiente, así como al contexto del caso de estudio (*WP4. INDICATORS*, liderado por USAL<sup>5</sup>).
- **Escenarios.** (*WP5. SCENARIOS*, liderado por UVA<sup>6</sup>).
- **Casos de estudio.** En este caso: Arribes del Duero (*WP7. CASE STUDIES*, liderado por CARTIF).

Como ya ha sido explicado, el presente TFG se centra en tareas específicas del paquete de modelado (*WP.6 MODELING*, liderado por UVA).

Por último, cabe destacar que para este primer prototipo de modelo no han sido requeridos entregables específicos del resto de paquetes de trabajo, pero en un futuro si se verán interconectados.

#### 4.1 Estructura general

La estructura general del modelo vino en parte propuesta por los líderes del proyecto, correspondiéndose con la Ilustración 4.3.

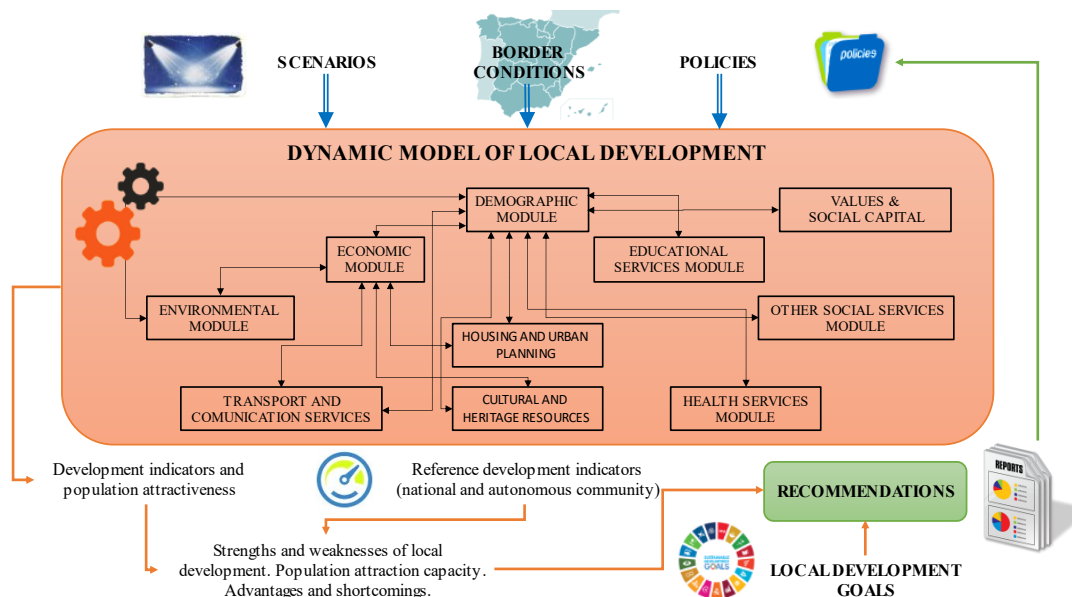


Ilustración 4.3. Estructura modelo SPANDAM. Ppt kick-off meeting.

Sobre esta primera estructura, y después de un periodo de reflexión acerca de la propuesta inicial, se valoró la posibilidad de aumentar o reducir la cantidad de módulos.

<sup>5</sup> Universidad de Salamanca

<sup>6</sup> Universidad de Valladolid

Finalmente, dadas las necesidades consideradas para alcanzar el objetivo del proyecto, se decidió aumentar en dos la cantidad preliminar sugerida. Aquellos añadidos fueron los módulos de atractivos locales y el auxiliar de variables externas.

De esta manera, los módulos finales resultaron ser los siguientes:

**i. Módulo demográfico.**

El cual presenta una importancia capital sobre el conjunto del modelo. Esto es debido a la necesidad por parte de cantidad de módulos de una población que sea reflejada de la manera más realista posible a lo largo del tiempo. A mayores, existe otro aliciente que lo convierte en núcleo principal, y es que no debemos olvidar que la finalidad del modelo es obtener una herramienta que oriente la dinámica migratoria durante la simulación.

Serán objeto prioritario de estudio dinámicas demográficas tales como migraciones, nacimientos o defunciones.

**ii. Módulo educativo.**

Declarado como de gran importancia, aunque inferior al demográfico. Esto es debido a la existencia de una relación clave entre educación y migraciones ya que, en ocasiones (Miguel Gonzalez, 2015), uno de los motivos clave para la emigración acaba siendo la ausencia de servicios educativos suficientes.

Será objeto de estudio aquellas diferencias claves en materia educativa, tales como distancia al centro educativo o existencia de dicho centro en la región, que pudieran afectar a la opinión de un núcleo familiar llegando al extremo en ocasiones de ser motivo de migración.

**iii. Módulo sanitario.**

El módulo sanitario, junto con el anterior módulo educativo, juega un papel fundamental dado el envejecimiento de la población rural (J. J. Mediavilla, 2021). Tanto es así que, en ocasiones, el simple hecho de disponer o no de un centro de salud en la región de residencia condiciona la calidad de vida, especialmente para la ya mencionada población envejecida que presentan dificultades en ocasiones incluso para desplazarse hasta el mismo.

En este módulo, es objeto de estudio la existencia, o en su defecto ausencia, de los servicios sanitarios y sus correspondientes listas de espera. Por otra parte, se han modelado las residencias de ancianos, atendiendo así las necesidades de una población envejecida.

**iv. Módulo económico.**

El módulo económico, junto con el demográfico, resulta ser el motor del modelo. Esto es debido a que, si bien es cierto que existen otras variables

posibles a considerar, gran cantidad de autores asocian la economía como el principal aspecto a tener en cuenta a la hora de estudiar la toma de decisiones migratorias. Cabe destacar que durante el subcapítulo 2.3 ya fueron citadas algunas referencias que evidencian una correlación entre variables microeconómicas y movimientos migratorios.

Serán objeto de estudio principal los puestos de trabajo que generen la totalidad de los sectores económicos, así como la tasa de desempleo o el nivel de salarios.

**v. Módulo medioambiental.**

De importancia, al comprenderse en este el uso del agua y la distribución del terreno disponible en la región de estudio, claves para la población o potenciales inversores.

Comprenderá las funciones de prioridad en cuanto a la distribución del suelo para cada una de sus posibles alternativas, así como las importaciones o exportaciones de agua necesarias. A mayores, tendrá en cuenta las emisiones producidas.

**vi. Módulo urbanístico.**

El módulo de vivienda y urbanismo plasmará las relaciones entre las necesidades de vivienda del módulo demográfico y el nivel de urbanización existente en la región, claves si se pretenden simular diferentes escenarios de desarrollo en áreas rurales.

A partir de ello, se modelarán problemáticas como el alto porcentaje de desocupación, el actual desaprovechamiento urbanístico o dichos escenarios de desarrollo rural.

**vii. Módulo transporte y comunicaciones.**

El módulo de transporte y comunicaciones agrupa, entre otras, aquellas necesidades de movilidad y comunicación que la sociedad demanda en la actualidad. Algunas de estas son, en ocasiones, de menor calidad en ámbitos rurales.

Se estudiarán los niveles de comunicaciones y transporte existentes en la región, los cuales darán lugar con posterioridad a sus atractivos correspondientes.

**viii. Módulo cultural y de patrimonio.**

De interés al ser considerado como un atractivo a tener en cuenta en el enriquecimiento de la región, pudiendo dar lugar a potenciales turistas o nuevas inversiones.

Se atenderán a aquellos elementos históricos que se conserven en la región, tales como iglesias, murallas, museos o eventos culturales entre otros.

**ix. Módulo valores y capital social.**

En cuanto al módulo de valores y capital social, se pretenden plasmar todos aquellos servicios sociales disponibles en la región de estudio que pudieran resultar atractivas para la población residente o potenciales migrantes.

En este caso, el foco se centra en aquellas asociaciones que prestan la atención que principalmente las generaciones más envejecidas demandan. Ejemplos de los servicios demandados podrían ser cuidados primarios, asistencia a compras del día a día o integración social para los más desfavorecidos.

**x. Módulo otros servicios sociales.**

El módulo de servicios sociales comprende aquellos servicios básicos requeridos por la población residente.

Contempla todas aquellas necesidades financieras o comerciales tales como sucursales bancarias en la región, supermercados o tiendas de suministros.

**xi. Módulo de atractivos locales.**

Clave para la correcta realimentación del modelo. Al fin y al cabo, cada uno de los módulos anteriores refleja diferentes dinámicas en sus respectivas áreas, las cuales, teniendo en cuenta la ponderación de la población y su comparativa con otras regiones generarán finalmente dichas migraciones objeto de estudio.

Han sido priorizados indicadores generales, específicos para cada módulo anterior a excepción del demográfico, así como la ponderación de estos atractivos en función de la edad de la población.

**xii. Módulo de variables externas.**

Módulo de soporte para mantener agrupadas todas aquellas relaciones con bases de datos externas.

En este, se diferencia entre aquellos parámetros del modelo y parámetros dependientes de escenarios.

Posteriormente, entre las páginas 28 a 56 se detalla la estructura y ecuaciones más relevantes de todos ellos.

A mayores, resulta conveniente previo a cualquier descripción general o específica del modelo, recordar el objetivo principal del actual TFG: *“Desarrollo de un primer*

*prototipo de herramienta robusta a pequeña escala que pueda orientar la toma de decisiones y políticas públicas, ayudando a combatir las desigualdades demográficas, socioeconómicas y medioambientales en regiones afectadas por la despoblación”.*

Teniendo en cuenta dicha herramienta a pequeña escala, se justifica la mayor profundización en ciertos módulos al resultar más relevantes en el contexto abordado, así como una superficialidad para los restantes.

Adicionalmente, para decidir que módulos eran considerados como prioritarios se tuvieron en cuenta los bucles principales del diagrama causal (Ilustración 3.3) elaborado en el subcapítulo 3.1.4.

De esta manera, se ha considerado como de interés prioritario los módulos demográfico, educativo, sanitario económico y medioambiental.

Por último, cabe destacar que las relaciones entre módulos fueron evolucionando a lo largo del tiempo, surgiendo nuevas relaciones a medida que se desarrollaban nuevas áreas.

Previo a esto, en la Tabla 4.1 se muestran las relaciones finales entre módulos, estando marcado con un punto negro (•) en el caso en que el módulo de la fila  $i$  requiera variables del módulo de la columna  $j$ .

Módulo $F_i C_j$	i	ii	iii	iv	v	vi	vii	viii	ix	x	xi	xii
i	-										•	•
ii	•	-										•
iii	•		-									•
iv	•			-	•							•
v	•			•	-	•						•
vi	•				•	-						•
vii							-					•
viii								-				•
ix	•								-			•
x	•									-		•
xi	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	-	•
xii												-

Tabla 4.1. Relaciones entre módulos.

## 4.2 Estructura específica

A continuación, se detallan cada uno de los módulos.

### 4.2.1 Estructura módulo demográfico

Inicialmente, se llevó a cabo un proceso anterior al modelado, importante para este posterior, consistente en la desagregación oportuna en niveles demográficos a estudiar.

Para ello se atendió a las características de la población relevantes para el contexto de estudio dado por el proyecto. En el caso de SPANDAM se han asumido como de interés, y que por lo tanto se han diferenciado sobre el modelo han sido:

- **Género.** Al ser un aspecto clave en el proceso de despoblación rural si se pretende estudiar las causas que justifican una masculinización del medio rural (GEEDS, 2021). En el subscript de género (*gender*) se diferenció en dos niveles: masculino y femenino.
- **Edad.** Al requerir el modelo una desagregación oportuna a las necesidades de cada módulo. Por ejemplo: sería conveniente diferenciar entre población infantil, en edad de trabajar y jubilados, para así poder alimentar a la variable de población activa del módulo económico, o las demandas de cada nivel educativo. En el subscript de edad (*cohort*) se diferenció en ocho niveles: C0, C1-2, C3-10, C11-16, C17-24, 25-44, C45-64 y C65+.

De esta manera, a partir de la combinando de ambos, la desagregación más profunda se dio en 16 subniveles.

Durante el proceso global de modelado, el módulo demográfico fue el primero en ser abordado. Para ello, se revisaron algunos de los modelos citados en el apartado 3.3. Más concretamente se consultaron los modelos: ANEMI (Jiang & Simonovic, 2021), WILIAM (de Blas Sanz et al., 2021), así como otras referencias relacionadas (Purvis et al., 2022) (Anguera, 2021).

A raíz de esta revisión existían dos opciones, ambas viables, cada una con sus fortalezas y debilidades respectivas.

La primera de ellas era optar por un esquema de modelado flujo – stock – flujo – stock etc., con un único subscript interno (*gender*), tal y como se puede apreciar en la Ilustración 4.4.

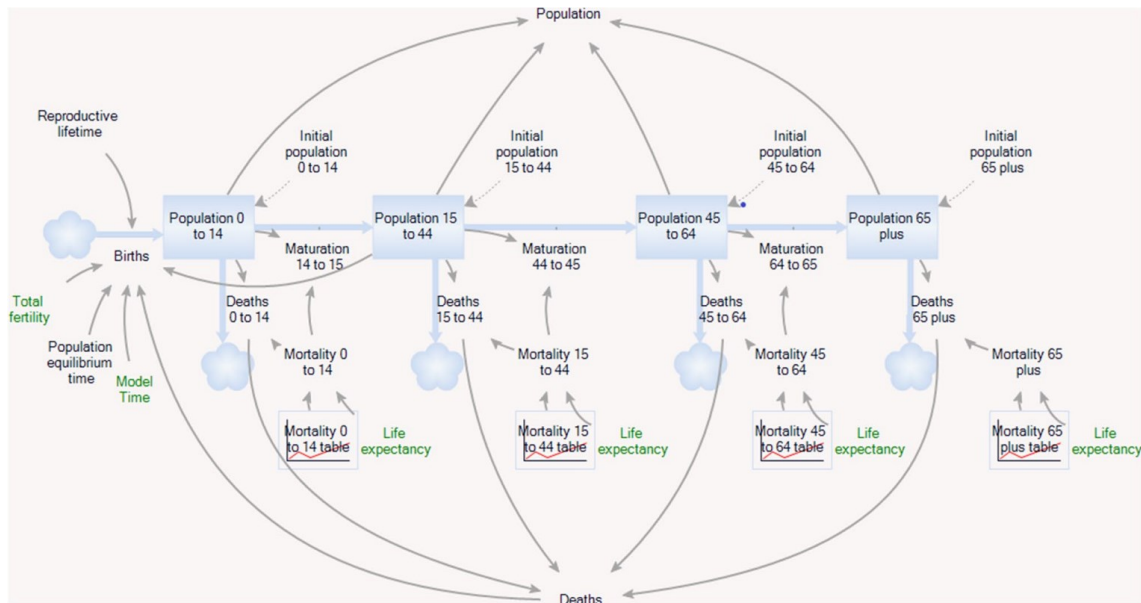


Ilustración 4.4. Alternativa flujo-stock módulo demográfico. (Purvis et al., 2022).

Por otra parte, la segunda opción concentraría todas las cohortes de edad en un único stock, visible en la Ilustración 4.5, el cual, mediante dos subscripts internos (*cohort* y *gender*), recogerían los 16 subniveles de población deseados.

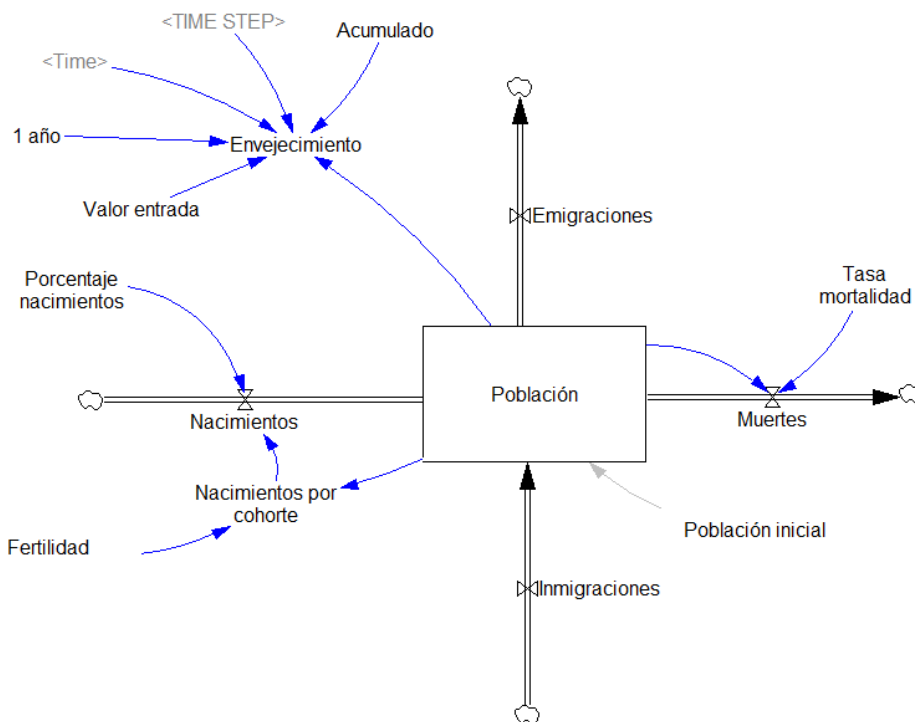


Ilustración 4.5. Alternativa stock único módulo demográfico. Elaboración propia.

Finalmente, se acabó optando por una alternativa flujo - stock similar a la de la Ilustración 4.4.



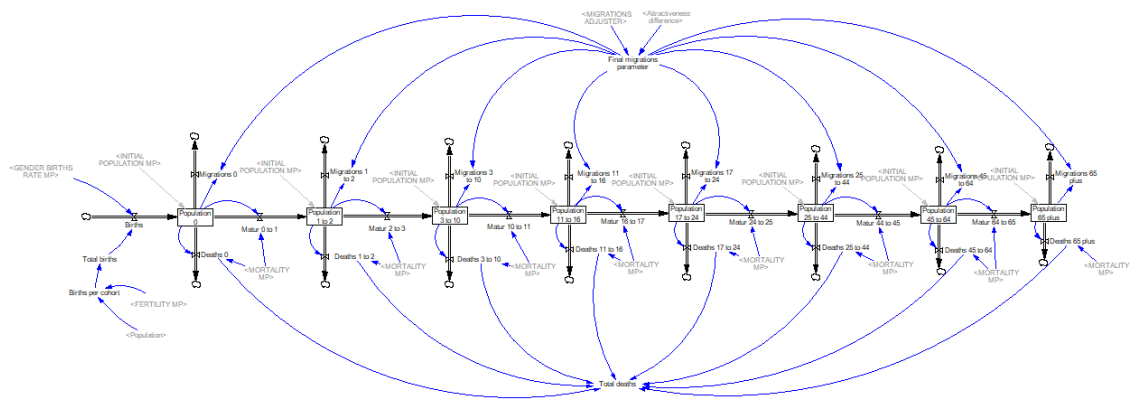


Ilustración 4.6. Módulo demográfico. Elaboración propia.

Los motivos que llevaron a ello fueron los diferentes resultados que proporcionarían ambas alternativas, ya que para la segunda opción la población no presentaba una variación homogénea en el tiempo, sino que existían fluctuaciones abruptas coincidiendo con el cambio de cohorte de cada generación.

Habiendo escogido ya la estructura a seguir más idónea para el contexto dado, se obtuvo el resultado visible en la Ilustración 4.6.

En cuanto a las ecuaciones principales del módulo resulta conveniente introducir antes los stocks y sus flujos declarados.

**STOCK Y FLUJOS:**

Los stocks fundamentales del módulo se corresponden con cada cohorte de edad, contando cada stock con cuatro flujos principales asociados, tal y como se aprecia sobre la Ilustración 4.7. Estos flujos serían: i) migraciones netas, ii) muertes, iii) población envejecida del stock inmediatamente anterior y iv) población envejecida el stock actual.

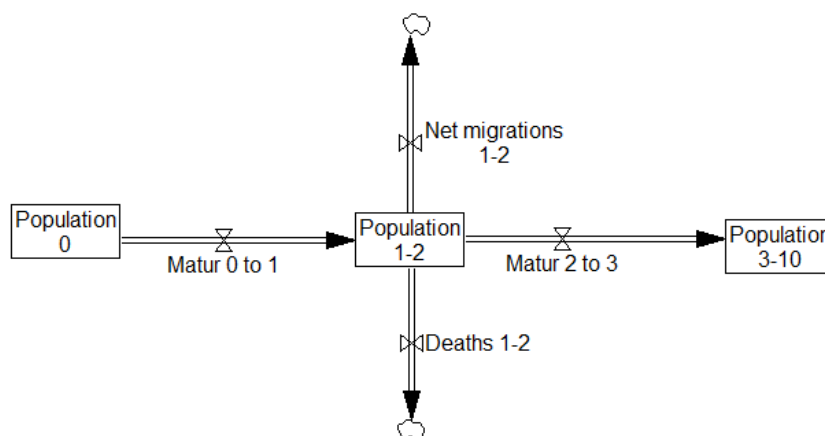


Ilustración 4.7. Ejemplo stock módulo demográfico. Elaboración propia.

La Ecuación 4.1 define los stocks genéricos de población (*Pop*), para su cohorte (subíndice *c*) y género (subíndice *g*) en cada tiempo discreto (subíndice *t*) de integración son:

$$Pop_{c,g,t} = Pop_{c,g,t-1} + \int Mature_{c-1,g,t} - Deaths_{c,g,t} - Migrations_{c,g,t} - Mature_{c,g,t} dt$$

*Ecuación 4.1. Población C1-2, C3-10, C11-16, C17-24, C25-44, C45-64.*

Caben destacar los casos excepcionales de población para las cohortes C0 (Ecuación 4.2) y C65+ (Ecuación 4.3).

$$Pop_{c,g,t} = Pop_{c,g,t-1} + \int Births_{c,g,t} - Deaths_{c,g,t} - Migrations_{c,g,t} - Mature_{c,g,t} dt$$

*Ecuación 4.2. Población C0.*

$$Pop_{c,g,t} = Pop_{c,g,t-1} + \int Mature_{c-1,g,t} - Deaths_{c,g,t} - Migrations_{c,g,t} dt$$

*Ecuación 4.3. Población C65+.*

### **VARIABLES DE INTERÉS:**

Algunas de las variables de interés ligadas al módulo demográfico son las tasas de natalidad, mortalidad, los porcentajes de nacimientos y los parámetros migratorios de ajuste.

### **RELACIONES CON OTROS MÓDULOS:**

El módulo demográfico presenta interacciones con los módulos educativo, sanitario, económico, medioambiental, valores y capital social, otros servicios sociales, de atractivos locales y de variables externas.

### **FUTUROS ASPECTOS DE MEJORA:**

En un futuro se deberá trabajar en una endogeneidad de las tasas de natalidad y mortalidad, así como en la inclusión de un tercer subscript que desagregue a la población en un tercer nivel: el grado de cualificación.

A mayores, se deberá estudiar la sensibilidad de los parámetros de ajuste migratorios al ser de total relevancia para una dinámica correcta del modelo.

#### **4.2.2 Estructura módulo educativo**

El módulo educativo elaborado tiene en cuenta cuatro niveles: i) guardería, ii) educación infantil y primaria, iii) educación secundaria y bachillerato y iv) estudios superiores.

Cada uno de estos niveles presentará similitudes con respecto al resto con la excepción de los estudios superiores, los cuales serán detallados más adelante.

El módulo se estructura para cada uno de los cuatro niveles desde la oferta y la demanda.

Por parte de la demanda para un nivel educativo dado (*Educative demand*), esta es calculada como la población en edad de recibir dicha educación (*Population*) una vez tenida en cuenta la tasa de abandono escolar (*Dropout rate*) a través de la Ecuación 4.4.

$$Educative\ demand_t = \sum_{c,g} Population_{c,g,t} \cdot (1 - Dropout\ rate_{c,g,t})$$

*Ecuación 4.4. Demanda educativa.*

Se entiende que la cohorte C1-2 requiere de los servicios de guardería, C3-10 los de educación infantil y primaria, C11-16 la educación secundaria obligatoria y bachillerato y finalmente C17-24 como la cohorte susceptible de recibir estudios superiores.

En cuanto a la oferta (Ecuación 4.5) esta se ve limitada debido a dos factores limitantes: profesorado (*teachers*) e infraestructuras disponibles (*facilities*).

A partir de cada factor se estima una capacidad de oferta (*Educative offer*) diferente en función de parámetros dependientes de escenarios como los m<sup>2</sup> por alumno (*m<sup>2</sup> per student*) o la cantidad máxima de alumnos por profesor (*students per teacher*). La oferta final es la más crítica una vez tenidos en cuenta ambos factores.

$$Educative\ offer_t = MIN(teachers_t \cdot students\ per\ teacher ; facilities_t \div m^2\ per\ student)$$

*Ecuación 4.5. Oferta educativa.*

La diferencia entre oferta y demanda puede llegar a dar lugar a unas necesidades de dichos factores, ya sean positivas o negativas, las cuales son realimentadas a sus correspondientes stocks proporcionalmente al *gap* entre demanda y oferta tras un retraso fijo.

El único nivel educativo en el cual no se realimenta la demanda insatisfecha son los estudios superiores, siendo la oferta un valor exógeno que podría llegar a variar según políticas. Por su parte, la respectiva cantidad de profesores es calculada de manera proporcional a la cantidad de plazas educativas ofertadas.

A mayores, es preciso destacar que existe un mínimo de demanda a partir de la cual, en caso de no alcanzarse, no se prestan servicios educativos. De esta manera, el stock de profesores se anula en el momento en que durante tres años consecutivos no se alcance dicho mínimo.

La estructura final del módulo educativo, en este caso para la educación primaria, aparece reflejada en la Ilustración 4.8.

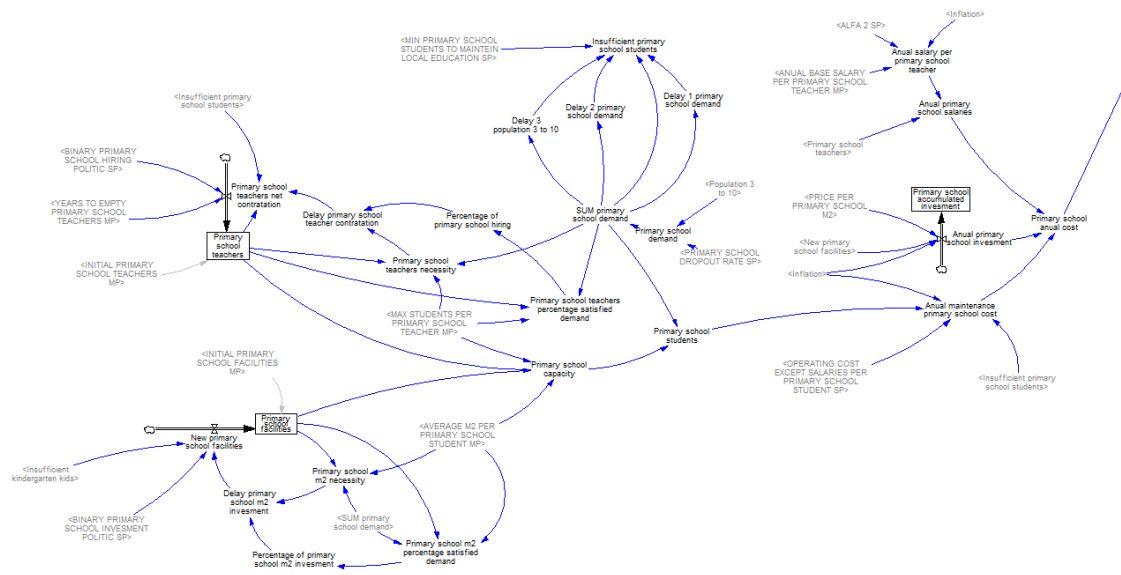


Ilustración 4.8. Módulo educativo. Elaboración propia.

### **STOCK Y FLUJOS:**

Los stocks más destacables son tres para cada nivel educativo: profesores, infraestructuras disponibles e inversión acumulada. Cada uno de estos presenta un flujo único de variación neta.

### **VARIABLES DE INTERÉS:**

Algunas de las variables de interés ligadas al módulo educativo son: m<sup>2</sup> por alumno, máx. alumnos por profesor, demanda educativa insatisfecha, salarios del profesorado, tasa de abandono escolar, costes de mantenimiento o mínimo de estudiantes para mantener una educación local.

### **RELACIONES CON OTROS MÓDULOS:**

El módulo educativo presenta relaciones con el módulo demográfico, de atractivos locales y de variables externas.

### **FUTUROS ASPECTOS DE MEJORA:**

En un futuro el modelo podría verse mejorado incluyendo la distancia o tiempo de desplazamiento al centro educativo más cercano, todo ello en caso de no prestarse servicios educativos locales.

#### **4.2.3 Estructura módulo sanitario**

En este módulo se han tenido en cuenta cuatro áreas principales: i) centros de salud, ii) centros de especialidades, iii) residencias de ancianos y iv) farmacias.

Los tres primeros presentan una estructura similar al módulo educativo: oferta - demanda.

Referido a la demanda:

En las dos primeras áreas, i) centros de salud y ii) especialidades, la demanda anual (*Sanitary demand*) es calculada a partir de la población (*Population*) y sus visitas medias anuales (*Average anual visits*) para cada cohorte (c) y género (g) en la Ecuación 4.6. También es tenido en cuenta un factor de ajuste local (*Local demand adjuster*), que dependerá de factores como la dureza del trabajo en la zona, renta per cápita o condiciones climáticas.

$$Sanitary\ demand_t = \sum_{c,g} Population_{c,g,t} \cdot Average\ anual\ visits_{c,g} \cdot Local\ adjuster_{c,g}$$

*Ecuación 4.6. Demanda sanitaria centros de salud y especialidades.*

En la tercera área, iii) residencias de ancianos (*Nursing homes*), esta es calculada a través de la Ecuación 4.7, mediante un porcentaje de necesidad específico (*Necessity percentage*) para cada región, cohorte (c) y género (g).

$$Sanitary\ demand_t = \sum_{c,g} Pop_{c,g} \cdot Necessity\ percentage_{c,g}$$

*Ecuación 4.7. Demanda sanitaria residencias de ancianos.*

Referido a la oferta:

En cuanto a i) centros de salud y ii) especialidades, son calculadas en función de un único factor limitante: el personal médico disponible (*Doctors*). Para ello, son necesarios algunos parámetros como la duración media de una visita médica (*Average time per visit*) o las horas anuales trabajadas por cada doctor (*Annual hours of work*). Todo ello es expresado en la Ecuación 4.8.

$$Sanitary\ offer_t = Doctors_t \cdot Annual\ hours\ of\ work \div Average\ time\ per\ visit$$

*Ecuación 4.8. Capacidad de atención centros de salud y especialidades.*

Es oportuno destacar que dicho personal lleva asociado unas infraestructuras necesarias.

Por su parte, en el caso de las iii) residencias de ancianos, la oferta es estimada en función de las infraestructuras disponibles.

En todos los casos, i) centros de salud, ii) especialidades y iii) residencias, existe un bucle de realimentación hacia los stocks correspondientes, tras un cierto retraso dado, en el caso en que la demanda se encuentre desequilibrada con respecto a la oferta. Al igual que en el módulo educativo, esta realimentación es proporcional al gap.

A mayores, en el caso particular de i) centros de salud y ii) especialidades, estos desequilibrios entre demanda y oferta llevan asociados su lista de espera correspondiente, y, de igual manera que en el módulo educativo, existe un mínimo

de demanda sanitaria a partir del cual no se prestan servicios en la región, por lo que deberían trasladarse al hospital más cercano fuera de la región.

El único caso atípico en este módulo es el de las iv) farmacias. Estas presentan una demanda proporcional a la población, habiéndose desagregado el grado de necesidad por cohorte de edad y género, pero, desde el punto de vista de la oferta, esta es directamente calculada como la cantidad de establecimientos abiertos en la región.

La estructura final del módulo sanitario es visible en la Ilustración 4.9.

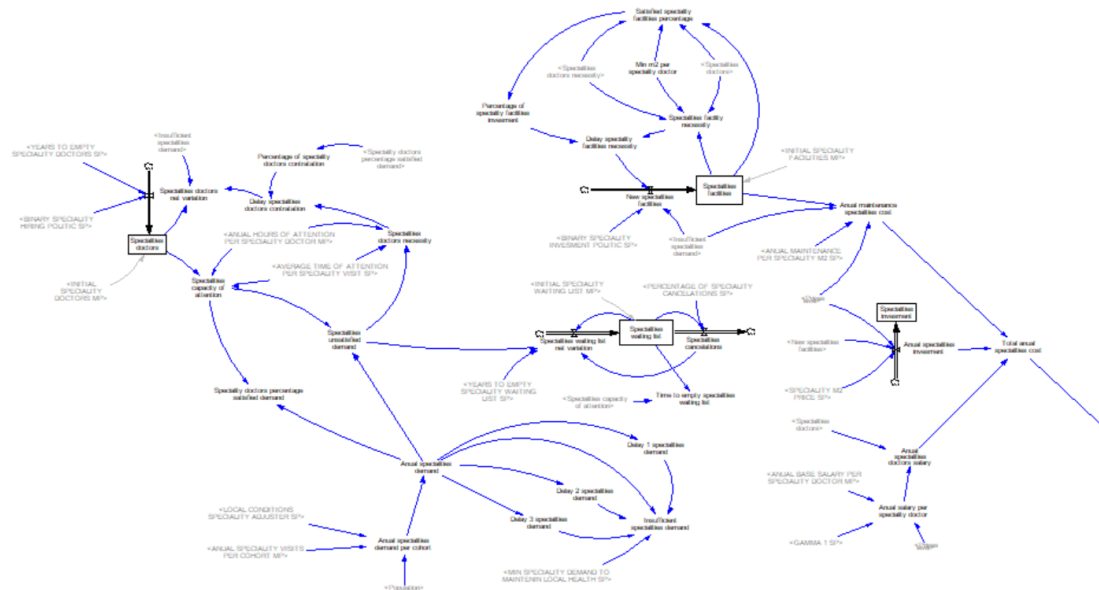


Ilustración 4.9. Módulo sanitario. Elaboración propia.

## STOCK Y FLUJOS:

Desde los i) centros de salud y ii) especialidades se ha requerido de cuatro stocks para cada uno de ellos. En primer lugar, el personal médico disponible. En segundo lugar, las infraestructuras disponibles. En tercer lugar, los costes acumulados. Por último, la lista de espera asociada a cada uno de ellos. Los tres primeros llevan consigo sus respectivos flujos de variación neta, mientras que el tercero presenta dos flujos, uno primero de salida debido a cancelaciones de citaciones médicas y otro positivo debido al ya mencionado desequilibrio entre oferta y demanda.

En el caso de iii) residencias y iv) farmacias existe un único stock de infraestructuras disponibles para cada uno de ellos, con su respectivo flujo de variación temporal.

## VARIABLES DE INTERÉS:

En cuanto a i) centros de salud y ii) especialidades han sido utilizadas variables como: visitas médicas medias anuales, factor de ajuste para la demanda local, horas trabajadas al año, tiempo medio por visita médica, mínimo de demanda para

mantener sanidad local, demanda insatisfecha, costes asociados de inversión y mantenimiento o salarios.

Para iii) residencias de ancianos: porcentaje de demanda para residencias de ancianos, m<sup>2</sup> necesarios por anciano o demanda insatisfecha.

Finalmente, para iv) farmacias: demanda anual farmacéutica per cápita.

#### **RELACIONES CON OTROS MÓDULOS:**

El módulo sanitario presenta interacciones con el módulo demográfico, de atractivos locales y de variables externas.

#### **FUTUROS ASPECTOS DE MEJORA:**

En un futuro deberá profundizarse en las condiciones sobre las cuales se reduce la sanidad en la región, así como la distancia que deberían de recorrer para llegar a ser atendidos.

#### **4.2.4 Estructura módulo económico**

El módulo económico se ha estructurado en siete sectores, los cuales se corresponden con áreas económicas diferenciadas. Los siete niveles económicos se corresponden con:

- Agricultura
- Energía
- Industria
- Servicios públicos
- Ganadería
- Turismo
- Comercio

De esta manera, se estimará para cada uno de los anteriores sectores la producción máxima (*Economic production*) realizable a través de la Ecuación 4.9, en función de factores como el capital (*K*) o la tierra disponible (*L*), jugando en estas producciones máximas un papel importante las productividades de ambos factores (*K productivity*; *L productivity*) para cada sector (subíndice *s*).

$$Economic\ production_{s,t} = MIN(K_{s,t} \cdot K\ productivity_{s,t} ; L_{s,t} \cdot L\ productivity_{s,t})$$

*Ecuación 4.9. Economic production sectores i), ii) y iii).*

Resulta preciso destacar que solo se consideró oportuno tener en cuenta la tierra disponible para los sectores i) agricultura, ii) ganadería y iii) energía. En el caso del resto de los sectores, su producción económica responde a la Ecuación 4.10.

$$Economic\ production_{s,t} = K_{s,t} \cdot K\ productivity_{s,t}$$

*Ecuación 4.10. Producción económica sectores iv), v), vi) y vii).*

Para ello, los trabajadores necesarios (*Workers necessity*) son calculados a través de las productividades del trabajo (*Labour productivity*) para cada sector (s) en la Ecuación 4.11.

$$\text{Workers necessity}_{s,t} = \text{Economic production}_{s,t} \div \text{Labour productivity}_{s,t}$$

*Ecuación 4.11. Trabajadores necesarios.*

La suma de los trabajadores necesarios por cada sector se corresponderá con la necesidad total, la cual será comparada con la población activa (*Active population*), calculada en la Ecuación 4.12.

$$\text{Active population}_t = \sum_{c,g} \text{Pop}_{c,g,t} \cdot \text{Active population percentage}_{c,g,t}$$

*Ecuación 4.12. Población activa.*

Una vez cuantificada la población activa (*Active population; AP*) y la necesidad de trabajadores (*Workers necessity; WN*), se ha tomado como hipótesis el hecho de que, en caso de haber mayor demanda de trabajadores que población activa, primero se empleará a los trabajadores locales llegando a existir trabajadores externos si fuera necesario.

En este caso, los trabajadores locales (*Local workers*), a través de la Ecuación 4.13, se distribuirán a través de la función *ALLOCATE AVAIAABLE* con una prioridad proporcional a la producción de cada sector económico, la cual define el perfil de los trabajadores (*Workers profile; WP*).

$$\text{Local workers}_{s,t} = \text{ALLOCATE AVAIAABLE}(\text{WN}_{s,t}, \text{WP}_{s,ptype,t}, \text{AP}_t)$$

*Ecuación 4.13. Distribución trabajadores locales.*

Los trabajadores externos (*External workers*) a la región para cada sector se ajustarán posteriormente como la diferencia entre los trabajadores locales (*Local workers*) y la necesidad de trabajadores (*Workers necessity*) en la Ecuación 4.14.

$$\text{External workers}_{s,t} = \text{Workers necessity}_{s,t} - \text{Local workers}_{s,t}$$

*Ecuación 4.14. Trabajadores externos.*

Los trabajadores externos totales se corresponderán con el sumatorio para cada sector.

Como consecuencia de lo anterior, se obtendrá de esta manera una tasa de paro local (*Unemployment rate*) como el cociente entre trabajadores locales y población activa local.

$$\text{Unemployment rate}_t = \text{Local workers}_t \div \text{Active population}_t$$

*Ecuación 4.15. Tasa de paro.*



A mayores, el módulo económico presenta un resultado económico anual, positivo en caso de dar beneficios o negativo en caso contrario, para cada sector. Este resultado es calculado como aquel valor añadido (*Value added; VA*) sobre la producción económica de cada sector, una vez retirados impuestos (*Taxes*) y salarios (*Wages*).

$$Local\ profit_t = Value\ Added_t - Taxes_t - Wages_t$$

Ecuación 4.16. Ganancias.

Por último, a partir del resultado económico (*Local profit*) y del capital (*K*) se calcula la tasa de ganancias local (*Local profit rate*), la cual aparece reflejada en la Ecuación 4.17.

$$Local\ profit\ rate_t = Local\ profit_t \div K_t$$

Ecuación 4.17. Tasa de ganancias.

La estructura final del módulo económico se corresponde con Ilustración 4.10.

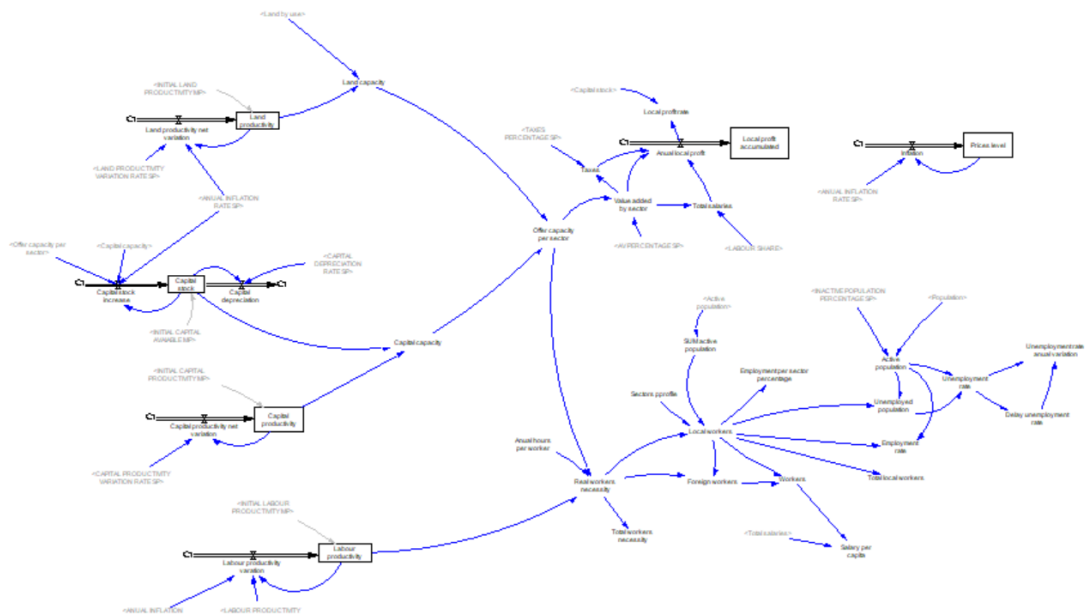


Ilustración 4.10. Módulo económico. Elaboración propia.

**STOCK Y FLUJOS:**

Los stocks existentes en el módulo económico son: capital, productividad del capital, productividad de la tierra, productividad del trabajo, ganancias e inflación. Cada uno de ellos llega consigo un único flujo que representa la variación anual neta, a excepción del stock de capital, el cual presenta un flujo positivo de inversión anual y otro negativo de depreciación del capital.

**VARIABLES DE INTERÉS:**

Algunas de las variables más relevantes son la necesidad de tierra, producción económica máxima, valor añadido, impuestos, horas trabajadas al año per cápita, trabajadores necesarios, trabajadores locales, trabajadores externos, salario per cápita, población activa o tasa de desempleo entre otros.

### **RELACIONES CON OTROS MÓDULOS:**

El módulo económico presenta interacciones con el módulo demográfico, medioambiental, de atractivos locales y de variables externas.

### **FUTUROS ASPECTOS DE MEJORA:**

En el futuro, el módulo económico deberá mejorar las relaciones clave alrededor del flujo de inversión de capital. A mayores, se deberán buscar otras alternativas ante la distribución de trabajadores locales entre sectores en caso de ser inferiores a los demandados.

A mayores, una parte fundamental será la endogeneidad de impuestos y salarios (*Wages*). Una alternativa de esto para los segundos sería la utilizada en el modelo EUROGREENS (Campigotto et al., 2022a), a través de relaciones con variables como la variación en la tasa de paro (*Employment rate variation; ERV*), la inflación (*Inflation; I*) y la variación en la productividad del trabajo (*Labour productivity variation; LPV*). Todo ello aparece reflejado en la Ecuación 4.18.

$$Wages_t = Wages_{t-1} \cdot (1 + I_t \cdot \delta_1 + LPV_t \cdot \delta_2 + ERV_t \cdot \delta_3)$$

*Ecuación 4.18. Alternativa salarios.*

## **4.2.5 Estructura módulo medioambiental**

El módulo medioambiental se ha modelado en cuatro áreas principales: distribución del suelo, disponibilidad de agua, contaminación y elementos singulares de especial atractivo.

Inicialmente, el suelo se distribuye para cada uno de sus cinco posibles usos a través del subscript de uso de la tierra (*land use; subíndice lu*). Sus cinco subniveles son:

- **Agricultura.**
- **Energía.**
- **Sin uso o terreno natural.**
- **Ganadería.**
- **Área urbana.**

Para estos cinco subniveles existe una necesidad, la cual viene dada por el módulo económico en los casos i, ii) y iii) (Ecuación 4.19) (subíndice e), por el módulo de vivienda en el caso iv) (Ecuación 4.20) y finalmente como el total de la tierra no utilizada en el caso v).

En el caso de los subniveles i), ii) y iii) utilizan variables como la producción a partir del capital (*Capital capacity*) y su productividad de la tierra (*Land productivity*). En cuanto al caso iv) utiliza la necesidad de m<sup>2</sup> urbanos per cápita (*Urban m<sup>2</sup> per capita*).

$$\text{Land demand}_{e,t} = \text{Capital capacity}_{e,t} \cdot \text{Capital productivity}_{e,t}$$

*Ecuación 4.19. Demanda de tierra agrícola, ganadera y energética.*

$$\text{Land demand}_t = \text{Urban m}^2 \text{ per capita}_t \cdot \text{Pop}_{e,t}$$

*Ecuación 4.20. Demanda de tierra urbana.*

Una vez calculadas sus demandas, a través de la función *ALLOCATE AVAIBLE*, ya mencionada para el cálculo de trabajadores en el módulo económico, se calculan sus repartos finales en función de unas prioridades (*Priorities*) hasta el momento exógenas. Se ha tomado como hipótesis el hecho de que se prioriza el terreno urbano, por lo que su prioridad será superior a la del resto, y una prioridad de terreno natural nula.

La función *ALLOCATE AVAIBLE* utiliza como argumentos la demanda de tierras, las prioridades y la tierra total disponible (*Land avaiable*), la cual se corresponde con el total del caso de estudio una vez retirado el mínimo no intervenible debido a políticas o escenarios. De esta manera se obtienen las hectáreas para cada subnivel.

$$\text{Land by use}_t = \text{ALLOCATE AVAIBLE}(\text{Land demand}_{lu}, \text{Priorities}_{lu,ptype}, \text{Land avaiable})$$

*Ecuación 4.21. Reparto de tierras.*

La estructura final del módulo medioambiental referido a la distribución del suelo es visible en la Ilustración 4.11.

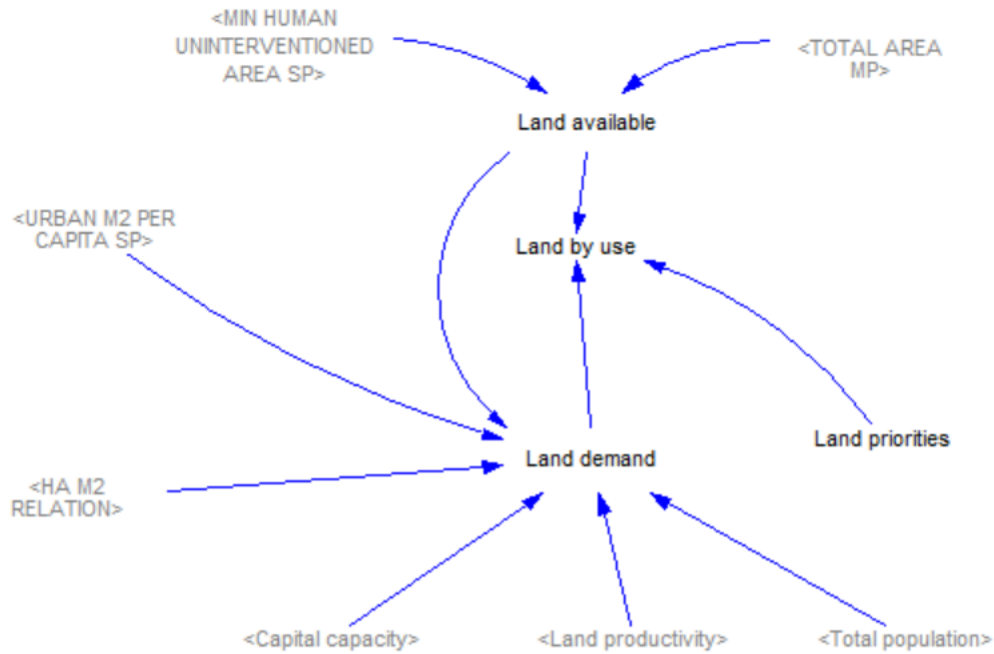


Ilustración 4.11. Módulo medioambiental. Distribución del suelo.

Con respecto a la disponibilidad de agua, sobre ella se tienen en cuenta cuatro posibilidades.

Inicialmente, la entrada de agua a modo de fuentes naturales como pueden ser lluvias o deshielo.

En segundo lugar, una salida de agua en forma de consumo (*Consumption*) de agua. Este se ha desagregado en cinco: i) uso doméstico (*Domestic*) (Ecuación 4.22), establecido como proporcional a la población (*Pop*), ii) uso energético (Ecuación 4.23), proporcional a la producción energética del módulo económico (*production*), iii) uso industrial (Ecuación 4.23), proporcional a la producción industrial del módulo económico (*production*), iv) uso ganadero (Ecuación 4.23), proporcional a la producción ganadera del sector económico y finalmente v) uso agrícola (*Agricultural*) (Ecuación 4.24), proporcional a las hectáreas agrícolas disponibles (*ha*), las cuales se encuentran desagregadas en hectáreas de secano o de regadío.

Además, para el cálculo de los consumos son tenidos en cuenta los porcentajes de pérdidas ( $Losses \%_{ij}$ ), así como la cantidad de agua requerida por unidad de producción económica (*Water necessity<sub>i</sub>*) en el caso de los consumos industrial, energético o ganadero (subíndice *i*), agua requerida por habitante (*Water necessity per capita*) en el caso del consumo doméstico y agua requerida por hectárea (*Water necessity per ha<sub>j</sub>*) de secano y regadío (subíndice *j*).

$$\text{Domestic water consumption}_t = \text{Pop}_t \cdot \text{Water necessity per capita} \div \text{Domestic losses \%}$$

Ecuación 4.22. Consumo doméstico de agua.

$$\text{Economic water consumption}_{i,t} = \text{Production}_{i,t} \cdot \text{Water necessity}_i \div \text{Losses \%}_i$$

Ecuación 4.23. Consumo industrial, ganadero y energético de agua.

$$\text{Agricultural water consumption}_{j,t} = \text{ha}_{i,t} \cdot \text{Water necessity per ha}_{j,t} \div \text{Losses \%}_i$$

Ecuación 4.24. Consumo agrícola, de secano y regadío, de agua.

La suma de los cinco consumos compone el consumo final.

Posteriormente, se tiene en cuenta una segunda entrada que cuantifica que proporción del consumo de agua sobre cada una de sus cinco áreas (subíndice  $k$ ) de desagregación es retornable a la red (Ecuación 4.25).

$$\text{Returnable water}_t = \sum_k \text{Water consumption}_{k,t} \cdot \text{Returnable \%}_k$$

Ecuación 4.25. Agua reutilizable total.

Finalmente, a partir de las dos entradas y salida de agua anteriores, es calculada la cantidad neta a exportar teniendo en cuenta la capacidad de almacenaje máxima de agua (*water storage*), el agua disponible y las entradas y salidas.

Por otra parte, referido a la contaminación (*Pollution*), esta es calculada de manera similar a los consumos de agua, y para la misma desagregación en niveles: contaminación doméstica (Ecuación 4.26), industrial (Ecuación 4.27), agrícola (Ecuación 4.27), ganadera (Ecuación 4.27) y energética (Ecuación 4.28) (subíndice  $k$ ).

Para ello son tenidas también en cuenta la fracción contaminada (*Polluted fraction*), así como la contaminación emitida por habitante (*Emissions per capita*) para el nivel doméstico, la contaminación emitida por unidad económica (*Emissions per output*) producida para los sectores ganadero, industrial y energético, y finalmente la contaminación por hectárea (*Pollution per ha*) para el sector agrícola, tanto para las hectáreas de secano como de regadío (subíndice  $j$ ).

$$\text{Domestic emissions}_t = \text{Pop}_t \cdot \text{Emissions per capita} \div \text{Domestic polluted fraction}$$

Ecuación 4.26. Emisiones domésticas.

$$\text{Economic emissions}_{i,t} = \text{Pop}_t \cdot \text{Emissions per capita}_i \div \text{Domestic polluted fraction}_i$$

Ecuación 4.27. Emisiones industriales, ganaderas y energéticas.

$$\text{Agricultural emissions}_{j,t} = \text{ha}_t \cdot \text{Emissions per ha}_j \div \text{Domestic polluted fraction}_j$$

Ecuación 4.28. Emisiones agrícolas de secano y regadío.

Las emisiones totales se corresponden con el sumatorio de las cinco anteriores.

$$Pollution_t = \sum_k Emissions_{k,t}$$

Ecuación 4.29. Emisiones totales.

La estructura final del módulo medioambiental referido a la disponibilidad de agua y emisiones es visible en la

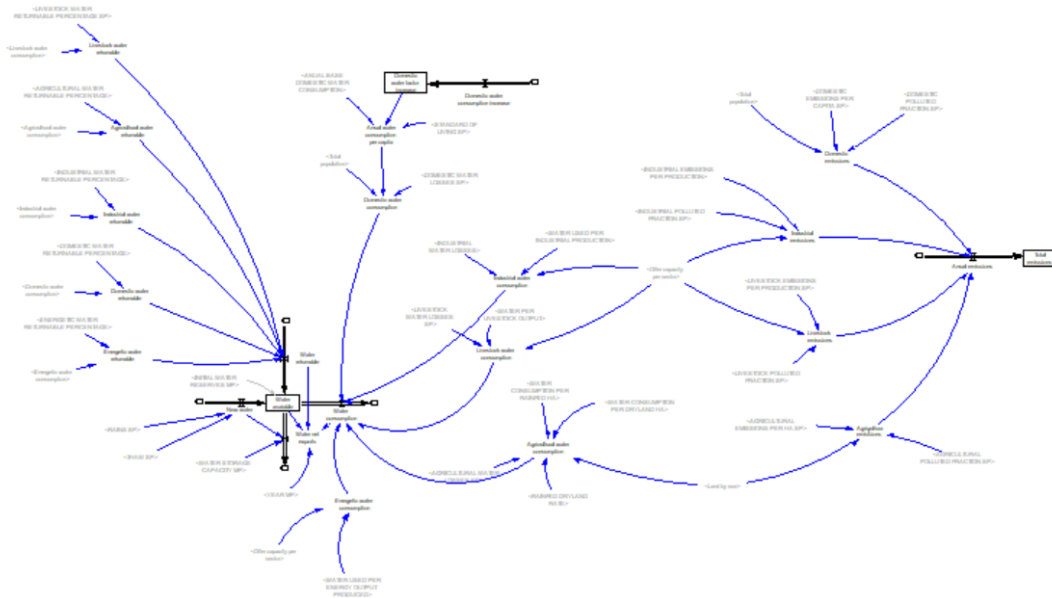


Ilustración 4.12. Módulo medioambiental. Disponibilidad de agua y emisiones.

Finalmente, se encuentran modeladas todos aquellos elementos de especial atractivo medioambiental, visibles en la Ilustración 4.13.

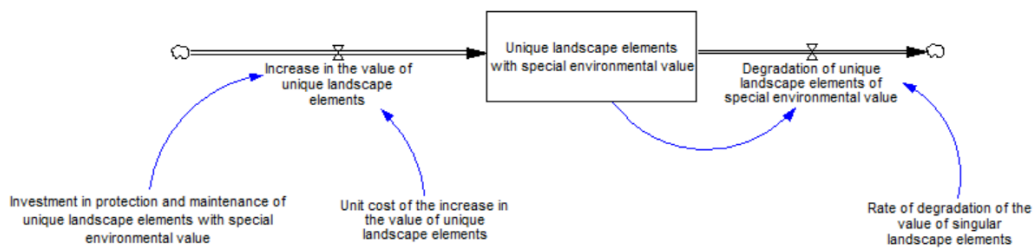


Ilustración 4.13. Módulo medioambiental. Elementos singulares.

Se encuentra cuantificado en términos de personas al año por horas que permanecen. A mayores, cuenta con dos posibles variaciones en función de la inversión anual dedicada a mantener o mejorar los parajes naturales y su degradación temporal.

**STOCK Y FLUJOS:**

En el módulo medioambiental existen cuatro stocks: agua disponible, factor de consumo doméstico de agua, contaminación acumulada y elementos de especial atractivo.

En cuanto al primero de ellos (*Water available*), su valor viene determinado por el sumatorio de su valor en el instante inmediatamente anterior y la integral de sus variaciones temporales o flujos.

$$\begin{aligned} \text{Water available}_t = & \text{Water available}_{t-1} + \int \text{New water}_t + \text{Water consumption}_t \\ & + \text{Water net exports}_t + \text{Returnable water}_t dt \end{aligned}$$

*Ecuación 4.30. Valor stock agua disponible.*

Relacionado con el anterior, el factor de consumo doméstico de agua multiplica al consumo base de agua por habitante, estando planteada a futuro su endogeneidad a partir de variables relacionada la riqueza de la zona o el cambio climático.

Por otra parte, el stock de contaminación únicamente presenta un flujo, por lo que se corresponderá con el sumatorio de su valor inmediatamente anterior y la integral de variación temporal en el instante de simulación dado.

Finalmente, el stock de elementos singulares. Este comprende todos aquellos entornos naturales de especial atractivo para la población y valor medioambiental. Cuenta con un flujo de salida el cual se corresponde con la degradación temporal y otro positivo de incremento para dichos elementos singulares.

### **VARIABLES DE INTERÉS:**

Algunas de las variables de interés son la capacidad máxima de almacenaje de agua, los porcentajes de emisiones vertidas, necesidad de agua por hectárea, persona o unidad económica, total de tierra, tierra mínima no intervenible, o demanda de tierras.

### **RELACIONES CON OTROS MÓDULOS:**

El actual módulo se relaciona con los módulos económico, de vivienda, de atractivos locales y de variables externas.

### **FUTUROS ASPECTOS DE MEJORA:**

En el futuro se deberá de trabajar en la endogeneidad de las prioridades en el repartido de la tierra. Una alternativa de ello sería a través de una escala lineal proporcional a las productividades de la tierra del sector económico, asumiendo una productividad de la tierra urbana siempre superior a cualquiera de estas y una productividad natural nula.

#### 4.2.6 Estructura módulo urbanismo

Con la finalidad de ser capaces de distinguir en mayor medida acerca de dos tipologías de viviendas existentes a estas, así como el atractivo que generan sobre la población, se ha decidido diferenciar en dos categorías o subscripts:

- **Tamaño.** Con dos subniveles: viviendas de más de 120 m<sup>2</sup> y viviendas de menos de 120 m<sup>2</sup>.
- **Antigüedad.** Con dos subniveles: viviendas construidas antes de 1990 y de construcción posterior a 1990.

De esta manera, existen cuatro subniveles en los que se clasifican la totalidad de las viviendas.

En cuanto al modelado, al igual que otros módulos, se ha decidido estructurar desde el punto de vista de la oferta y la demanda.

La demanda (*Construction necessity*) viene dada por la población (*Population*) del módulo demográfico y las viviendas existentes (*Houses*), habiéndose tomado como hipótesis el hecho de que cada vivienda es habitada de media por tres personas (*Average people per house*). Así, la necesidad es expresada en la Ecuación 4.31.

$$\text{Construction necessity}_t = \text{MAX}(0, \text{Population}_t \div \text{Average people per house} - \text{Houses}_t)$$

*Ecuación 4.31. Necesidad de viviendas.*

Cabe destacar que la edificación de viviendas vendrá dada tras un cierto retraso, por lo que la población no verá satisfechas sus necesidades en el momento. Además, se cuenta con un factor de retirada de casas habitables debido a su antigüedad.

La estructura del módulo de vivienda y urbanismo es la reflejada en la Ilustración 4.14.



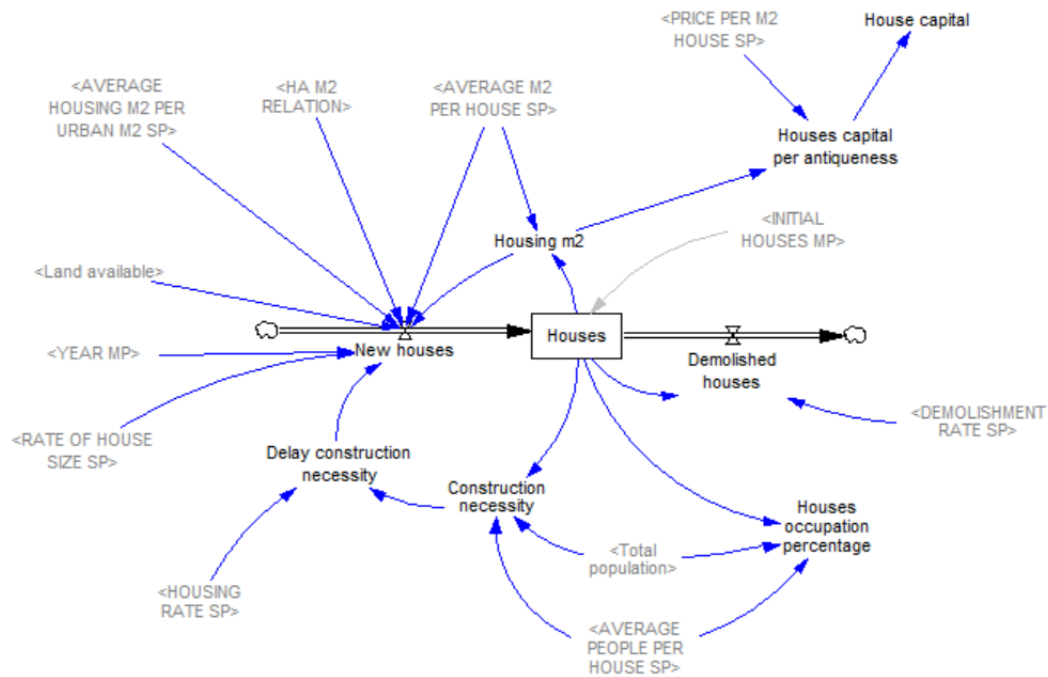


Ilustración 4.14. Módulo vivienda y urbanismo.

### **STOCK Y FLUJOS:**

El único stock que forma parte del actual módulo se corresponde con la cantidad de viviendas en la región, habiendo dos flujos ligados a él. En primer lugar, un flujo positivo de nuevas viviendas construidas, así como otro negativo de viviendas demolidas.

### **VARIABLES DE INTERÉS:**

Algunas de las variables de interés en este módulo son la cantidad media de habitantes por vivienda, la ratio de demolición, las hectáreas de área urbana disponible o la relación entre cantidad de viviendas y la relación entre área urbana y área edificable.

### **RELACIONES CON OTROS MÓDULOS:**

El módulo de vivienda y urbanismo presenta relaciones con el módulo demográfico, medioambiental, de atractivos locales y de variables externas.

### **FUTUROS ASPECTOS DE MEJORA:**

En el futuro, se deberá incluir la posibilidad de construcción de viviendas en función de diferentes escenarios, siendo uno de estos el actual: según necesidades demográficas.

### 4.2.7 Estructura módulo transporte y comunicaciones

El actual módulo se ha estructurado de una manera sencilla en comparación a otros, aunque siempre bajo la premisa de mostrar la información necesaria acorde con los objetivos del proyecto.

En cuanto a las comunicaciones, se han desagregado en dos niveles en función de si la población tiene acceso a una velocidad de internet mínima (100MBps) o no. En caso negativo, se ha tomado la hipótesis de invertir en una mejora de las comunicaciones si la población total sobrepasa una determinada cantidad.

Referido al transporte la estructura es similar. Se ha desagregado en tres niveles en función de la calidad máxima de carreteras que conecta la región con los alrededores. De esta manera, tomarán un valor igual a cero si su mejor carretera es únicamente comarcal, uno si son carreteras nacionales o dos si existen autovías cercanas.

Al igual que las comunicaciones, se ha tomado como hipótesis el hecho de que si la población sobrepasa una determinada cantidad existirán mejoras en la red de carreteras.

La estructura final del módulo de transporte y comunicaciones es la siguiente:

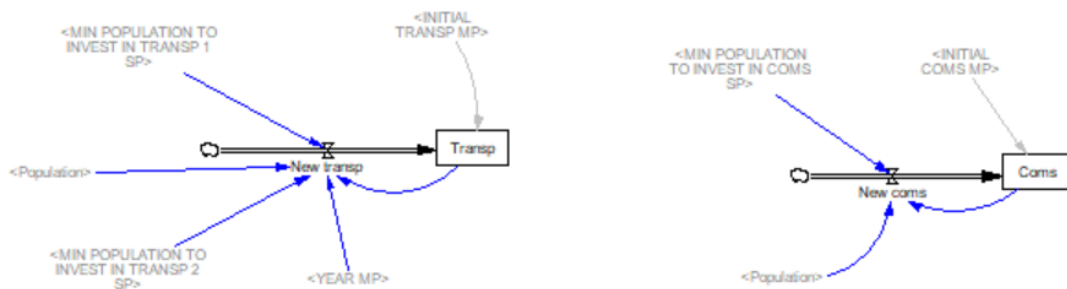


Ilustración 4.15. Módulo transporte y comunicaciones. Elaboración propia.

#### **STOCK Y FLUJOS:**

Existen dos stocks, uno para cada una de las áreas del módulo. Ambos, transportes y comunicaciones, presentan su flujo de variación.

#### **VARIABLES DE INTERÉS:**

Las variables de interés son aquellos mínimos de población como para invertir en una mejora de las comunicaciones o transportes.

#### **RELACIONES CON OTROS MÓDULOS:**

Existen relaciones con el módulo demográfico, de atractivos locales y de variables externas.

**FUTUROS ASPECTOS DE MEJORA:**

En este caso existen múltiples mejoras a realizar. En primer lugar, ambos stocks comprenden la totalidad de las comunicaciones y transportes, cuando posiblemente lo oportuno se corresponda con una desagregación en niveles más específicos. Algunos de los posibles niveles a desagregar en cuanto a comunicaciones son: calidad de internet y servicios de paquetería (Amazon, Correos etc.). En cuanto a transporte se podrían tener en cuenta: carreteras, tren y autobús (internos y externos a la región).

Por otra parte, otra segunda área de mejora es el hecho de que las inversiones no son instantáneas, sino que requieren de un cierto tiempo tras alcanzar el nivel de población correspondiente.

Por último, se deberán de poder evaluar los resultados globales del modelo bajo diferentes escenarios de comunicaciones y transportes, variando por ejemplo los criterios de inversión con respecto a los actuales. Un ejemplo de escenario alternativo sería la inversión en comunicaciones pese a no alcanzar la cantidad dada.

**4.2.8 Estructura módulo cultural**

El módulo cultural se ha estructurado a partir de un núcleo central en el que se cuantifica el atractivo cultural de la región, siendo ese valor cultural el que se relaciona con el módulo económico a modo de capital.

El capital cultural presentará una depreciación anual, cuya ratio de depreciación es considerado como exógeno. A mayores, con el objetivo de mantener dicho capital cultural constante existirán unas necesidades de mantenimiento, las cuales dependerán de escenarios.

Por otra parte, será decisión de la región el hecho de revalorizar su capital cultural. Esta decisión también será considerada en función de los diferentes escenarios.

La estructura final del módulo cultural es la visible en la Ilustración 4.16.

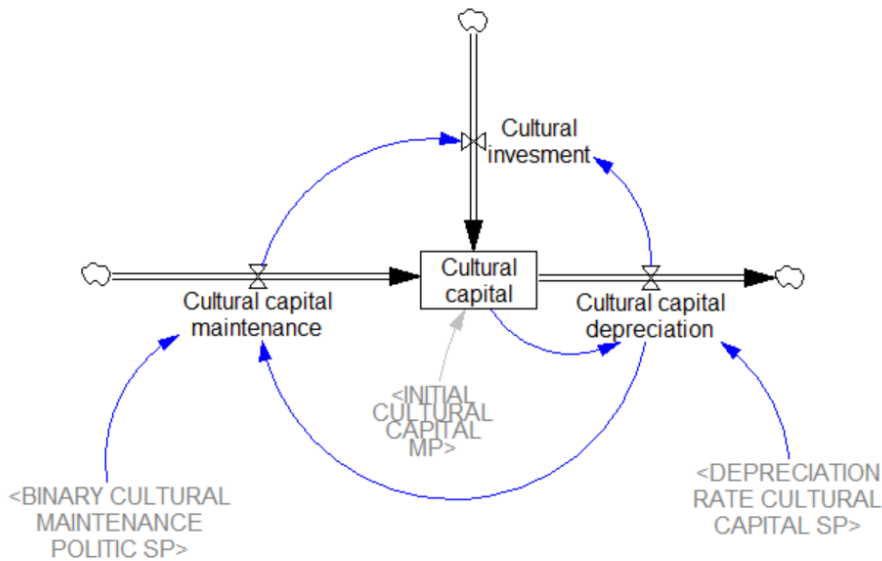


Ilustración 4.16. Módulo cultural. Elaboración propia.

### **STOCK Y FLUJOS:**

Existe un único stock en el módulo cultural, el cual es cuantificado en unidades económicas (euros) a partir de los ingresos que es capaz de originar en la región.

En cuanto a sus flujos son tres: depreciación, mantenimiento y nuevas inversiones culturales.

### **VARIABLES DE INTERÉS:**

Las variables de interés en este módulo son aquellas dependientes de escenarios: ratio de mantenimiento y ratio de depreciación.

### **RELACIONES CON OTROS MÓDULOS:**

El módulo cultural está relacionado con el módulo económico, de atractivos locales y de variables externas.

### **FUTUROS ASPECTOS DE MEJORA:**

En el futuro, deberán depurarse las relaciones con el módulo económico, estudiando aquellos beneficios económicos que genera o los puestos de trabajo asociados que lleva consigo.

#### **4.2.9 Estructura módulo valores y capital social**

El actual módulo se encuentra estructurado en dos partes, inicialmente desde aquellas horas demandas por la población residente y posteriormente desde aquellas ofertadas por las asociaciones existentes.

Las horas demandadas por la población dependen de la población residente en la región, del porcentaje de población demandante de estos servicios y de las horas anuales demandadas por persona.

Por otra parte, las horas ofertadas dependerán de la cantidad de asociaciones existentes en la región.

Es preciso destacar que existe un bucle de realimentación para aquella demanda insatisfecha, la cual ocurrirá en función de escenarios tras un cierto tiempo dado.

La estructura final del módulo de valores y capital social aparece representada en la Ilustración 4.17.

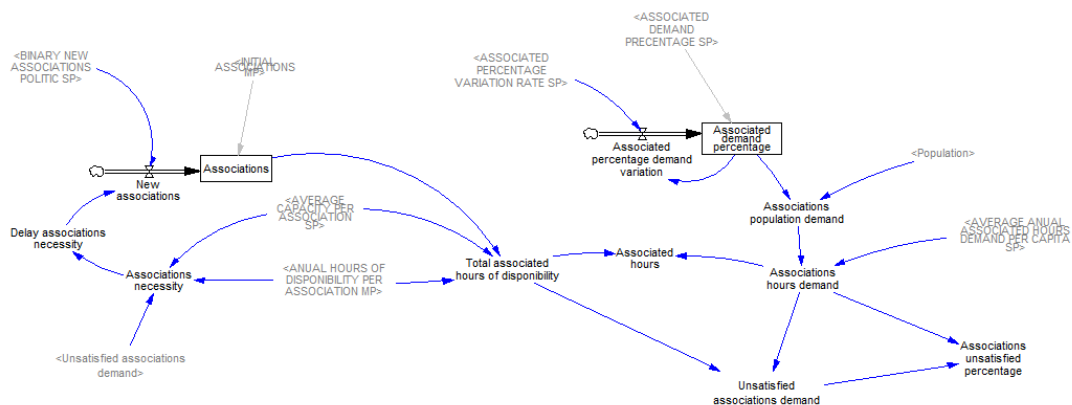


Ilustración 4.17. Módulo valores y capital social. Elaboración propia.

### **STOCK Y FLUJOS:**

Existen dos stocks principales en el módulo de valores y capital social: la cantidad de asociaciones y el porcentaje de demanda sobre la población.

Ambos stocks presentan un flujo de variación neta. En el caso de las asociaciones, su flujo dependerá de escenarios en función de la realimentación mencionada anteriormente. Referido al porcentaje de demanda, su flujo será dependiente meramente del escenario correspondiente.

### **VARIABLES DE INTERÉS:**

En cuanto a las principales variables de interés son: población demandante de asistencia, horas demandadas per cápita, oferta insatisfecha o necesidad de nuevas asociaciones.

### **RELACIONES CON OTROS MÓDULOS:**

El actual módulo se relaciona con el módulo demográfico, de atractivos locales y de variables externas.

### **FUTUROS ASPECTOS DE MEJORA:**

En el futuro, se podrán incluir otros distintivos sociales de la región como por ejemplo la actividad de asociaciones vecinales.

#### 4.2.10 Estructura módulo servicios sociales

En cuanto a los servicios financieros estos son entendidos como la posibilidad de realizar transacciones bancarias en la región, ya sea retirando dinero en efectivo de una sucursal o posibilitándose el pago mediante tarjeta de crédito en los establecimientos de la región.

Relativo a los servicios comerciales, se engloban en esta categoría todos los supermercados o tiendas de suministro ubicados en la región.

La demanda, tanto de servicios bancarios como comerciales, dependerá de la población en la región.

La estructura del módulo de servicios sociales es la visible en la Ilustración 4.18.

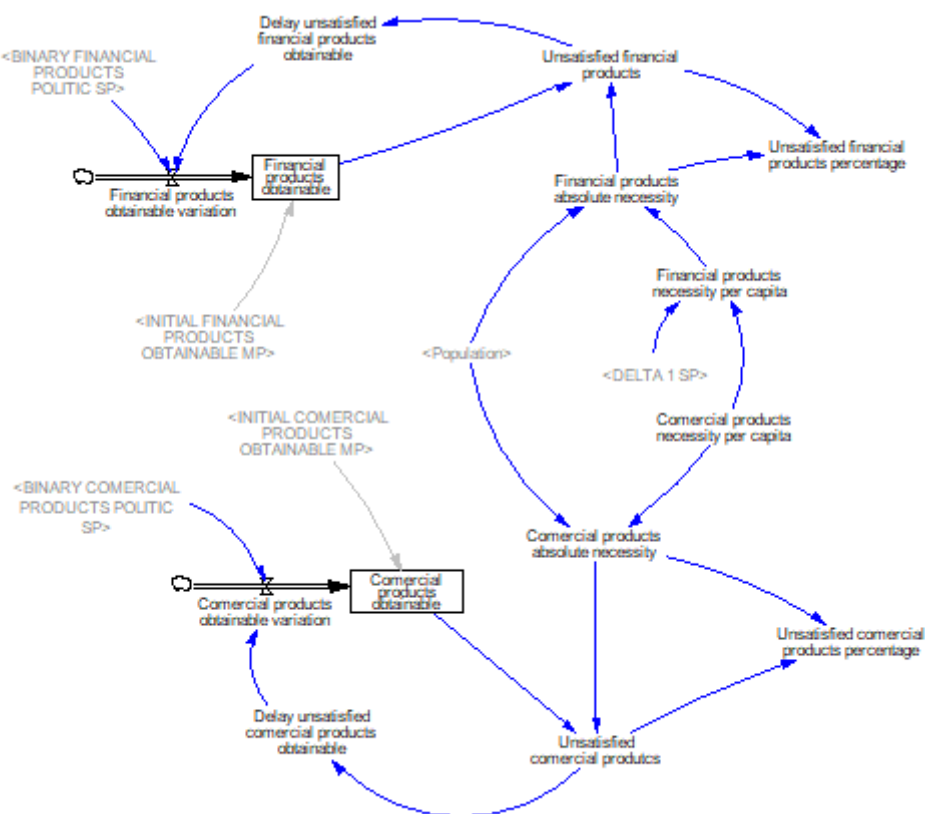


Ilustración 4.18. Módulo servicios sociales. Elaboración propia.

#### **STOCK Y FLUJOS:**

Existen dos stocks fundamentales, uno primero de productos obtenibles al año en la región y otro de operaciones financieras. Cada uno de ellos presenta un flujo de variación neta que variará en función de escenarios.

**VARIABLES DE INTERÉS:**

Algunas de las variables de interés son las necesidades comerciales per cápita, necesidades financieras per cápita o la demanda insatisfecha.

**RELACIONES CON OTROS MÓDULOS:**

Presenta relaciones con el módulo demográfico, de atractivos locales y de variables externas.

**FUTUROS ASPECTOS DE MEJORA:**

En el futuro se podrán desagregar los productos comerciales según diferentes criterios. Por ejemplo: productos de consumo diario, productos inventariables, productos perecederos etc.

En cuanto a las necesidades financieras se podría indicar el hecho de que exista o no trato humano o digital en la sucursal bancaria, o incluso la distancia de la sucursal más cercana.

**4.2.11 Estructura módulo de atractivos locales**

En cuanto al módulo de atractivos locales, se han planteado una estructura con diferentes dimensiones de atractivo, expresadas a través de componentes del subscript *attractiveness dimensions*.

Es preciso destacar que cada componente presenta una valoración numérica acotada en un rango entre 0 y 1, la cual a su vez viene determinada por uno o varios indicadores del mismo rango.

De esta manera, el conjunto de componentes da lugar al atractivo final de la región de estudio. Este atractivo local se expresa de manera vectorial.

Las componentes del subscript de dimensiones del atractivo están relacionadas con los módulos hasta ahora descritos a excepción del demográfico. Estas componentes son:

- **Educativo.** El cual presenta cuatro indicadores equivalentes (Ecuación 4.32) para cada uno de sus niveles educativos.

$$\text{Primary school indicator}_t = \text{Primary school students}_t \div \text{Primary school demand}_t$$

*Ecuación 4.32. Indicador guarderías.*

La ponderación de los cuatro indicadores se corresponde con la Tabla 4.2.

Indicador:	Guardería	Infantil y primaria	Secundaria y bachillerato	Estudios superiores
Peso:	30%	30%	30%	10%

*Tabla 4.2. Ponderación indicadores educativos.*

- **Sanitario.** El cual presenta tres indicadores, dos de ellos equivalentes referidos a las listas de espera de centros de salud y especialidades (Ecuación 4.33), mientras que el tercero hace referencia a las residencias de ancianos (Ecuación 4.34).

$$\text{Clinic waiting list indicator}_t = \text{Clinic waiting list}_t \div \text{Clinic waiting list reference}_t$$

Ecuación 4.33. Indicador listas de espera.

$$\text{Nursing homes indicator}_t = \text{Nursing homes attention}_t \div \text{Nursing homes demand}_t$$

Ecuación 4.34. Indicador residencias de ancianos.

La ponderación de los tres indicadores se corresponde con la Tabla 4.3.

Indicador:	Lista espera centros de salud	Lista de espera especialidades	Residencias de ancianos
Peso:	45%	45%	10%

Tabla 4.3. Ponderación indicadores sanitarios.

- **Económico.** A través de dos indicadores, uno de ellos en función del salario (Ecuación 4.35) y otro referente la tasa de empleo (Ecuación 4.36).

$$\text{Wages indicator}_t = (\text{Average wages}_t - \text{Wages reference}_t) \div \text{Wages reference}_t$$

Ecuación 4.35. Indicador nivel de salarios.

$$\text{Employment indicator}_t = \text{Employment rate}_t - \text{Clinic waiting list reference}_t$$

Ecuación 4.36. Indicador tasa de empleo.

Es preciso destacar que a la referencia de salarios tiene en cuenta el nivel de precios del modelo.

La ponderación de los dos indicadores se corresponde con la Tabla 4.4

Indicador:	Tasa de empleo	Nivel de salarios
Peso:	60%	40%

Tabla 4.4. Ponderación indicadores económicos.

- **Medioambiental.** El cual presenta dos indicadores, uno relativo a la cantidad de área natural (Ecuación 4.37) y otro en función de la cantidad de elementos singulares de especial atractivo (Ecuación 4.38).

$$\text{Natural area indicator}_t = \text{Natural area}_t \div \text{Natural reference}_t$$

Ecuación 4.37. Indicador área natural.

$$\text{Unique landscape indicator}_t = \text{Unique landscape}_t \div \text{Unique landscape reference}_t$$

Ecuación 4.38. Indicador elementos singulares.

La ponderación de los dos indicadores se corresponde con la Tabla 4.4.

Indicador:	Área natural	Elementos singulares
------------	--------------	----------------------



<b>Peso:</b>	60%	40%
--------------	-----	-----

Tabla 4.5. Ponderación medioambiental.

- **Social.** A través de dos indicadores, uno dedicado a la cantidad de asociaciones (Ecuación 4.39) y otro referido a los servicios sociales de la región (Ecuación 4.40).

$$\text{Associations indicator}_t = \text{Unsatisfied associations demand}_t \div \text{Associations demand}_t$$

Ecuación 4.39. Indicador asociaciones.

$$\text{Services indicator}_t = \text{Unsatisfied social services demand}_t \div \text{Social services demand}_t$$

Ecuación 4.40. Indicador servicios sociales.

La ponderación de los dos indicadores se corresponde con la Tabla 4.6.

<b>Indicador:</b>	Asociaciones	Servicios sociales
<b>Peso:</b>	50%	50%

Tabla 4.6. Ponderación social.

Cabe destacar que, tras realizarse la suma ponderada de ambos indicadores, esta es invertida de manera que se asigne un valor igual a 1 si la suma ponderada es igual a 0 y viceversa.

- **Transporte y comunicaciones.** A través de dos indicadores, uno de ellos referido a transporte (Ecuación 4.41) y otro a comunicaciones (Ecuación 4.42).

$$\text{Transport indicator}_t = \text{Transport level}_t \div \text{Transport reference}$$

Ecuación 4.41. Indicador transporte.

$$\text{Communications indicator}_t = \text{Communications}_t \div \text{Communications reference}$$

Ecuación 4.42. Indicador comunicaciones.

La ponderación de los dos indicadores se corresponde con la Tabla 4.7.

<b>Indicador:</b>	Transporte	Comunicaciones
<b>Peso:</b>	50%	50%

Tabla 4.7. Ponderación transporte y comunicaciones.

- **Cultural.** A través de un indicador referido al nivel de capital cultural acumulado.

$$\text{Cultural indicator}_t = \text{Cultural capital}_t \div \text{Cultural reference}$$

Ecuación 4.43. Indicador cultural.

La ponderación del indicador se corresponde con la Tabla 4.8.

<b>Indicador:</b>	Capital cultural
<b>Peso:</b>	100%

Tabla 4.8. Ponderación cultural.

- **Servicios.** A través de dos indicadores, uno dedicado a servicios comerciales y otro a servicios financieros. Estos indicadores resultan equivalentes a los de la componente de transporte (Ecuación 4.41) y comunicaciones (Ecuación 4.42).

La ponderación de los dos indicadores se corresponde con la Tabla 4.9. Tabla 4.7

Indicador:	Servicios comerciales	Servicios financieros
Peso:	50%	50%

Tabla 4.9. Ponderación servicios.

- **Vivienda.** A partir de dos indicadores, uno relacionado con el porcentaje de ocupación de viviendas (Ecuación 4.44) y otro referido al coste de m<sup>2</sup> (Ecuación 4.45).

$$Occupation\ indicator_t = (Occupation_t - Occupation\ reference) \div Occupation\ reference$$

Ecuación 4.44. Indicador porcentaje de ocupación.

$$Occupation\ indicator_t = Price\ per\ m^2 \div Price\ per\ m^2\ reference$$

Ecuación 4.45. Indicador precio por m<sup>2</sup>.

La ponderación de los dos indicadores se corresponde con la Tabla 4.10.

Indicador:	Porcentaje ocupación	Coste m <sup>2</sup>
Peso:	35%	65%

Tabla 4.10. Ponderación vivienda.

Una vez formado el vector de dimensiones del atractivo a partir de los indicadores detallados, este es multiplicado por la correspondiente matriz de ponderaciones para cada componente y cohorte de edad. De esta manera, al multiplicar ambos se obtiene el vector de atractivos locales para cada cohorte de edad.

Posteriormente, al realizar la diferencia componente a componente del vector de atractivos locales y el vector de atractivos externos, esta es relacionada con el módulo demográfico siendo la responsable de las migraciones.

La estructura del módulo de atractivos locales es visible en la Ilustración 4.19.

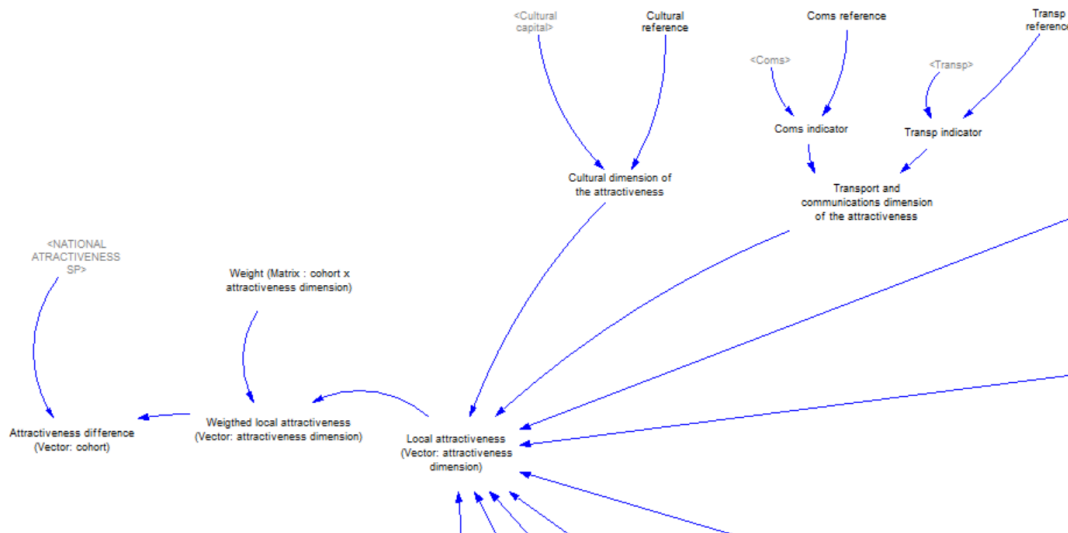


Ilustración 4.19. Módulo de atractivos locales. Elaboración propia.

### **STOCK Y FLUJOS:**

No existen stocks ni flujos en el módulo actual.

### **VARIABLES DE INTERÉS:**

Destacan la matriz de ponderaciones de atractivos locales para las diferentes cohortes de población, así como múltiples indicadores para cada una de las nueve componentes del atractivo.

### **RELACIONES CON OTROS MÓDULOS:**

El módulo de atractivos locales presenta relación con todos y cada uno de los módulos.

### **FUTUROS ASPECTOS DE MEJORA:**

En el futuro, se deberán consultar los valores de referencia y ponderaciones de cada peso con expertos, así como plantearse los indicadores que aporten la mayor información posible acerca de la toma de decisiones migratorias.

#### **4.2.12 Estructura módulo de variables externas**

Durante la elaboración del modelo se tomó la decisión de, con el objetivo de mantener un orden que simplifique su manejo, no introducir ningún dato directamente desde VENSIM sino desde bases de datos externas. Esto podría parecer una pérdida de tiempo en etapas iniciales del proyecto en las que los volúmenes de datos no son destacables, pero extremadamente útil en posteriores etapas en las que la demanda de datos escale exponencialmente.

Además, desde el punto de vista del consumidor final del proyecto SPANDAM, cabe destacar que no tiene por qué presentar conocimientos acerca de los entresijos del

modelo, pudiéndole interesar únicamente las salidas de datos obtenidas para unas ciertas entradas elegidas.

De esta manera, se optó por la alternativa de utilizar Excel al tener en cuenta la posible familiarización previa por parte del usuario final, así como el hecho de satisfacer las necesidades desde el punto de vista de los volúmenes de datos demandados desde el modelado.

Dos archivos de Excel han sido utilizados, atendiendo a una clasificación práctica en función de si los valores requeridos dependían de escenarios (*Scenario Parameters; SP*) o del modelo (*Model Parameters; MP*). De esta manera se han generado los documentos 'model\_parameters\_SPANDAM.xlsx' y 'scenario\_parameters\_SPANDAM.xlsx'.

Posteriormente, para cada archivo Excel, se ha diferenciado en múltiples hojas según si la variable que requiere los datos es propia del módulo demográfico, sanitario etc.

	B	C	D	E	F	G
1	<b>Units</b>	<b>Male</b>	<b>Female</b>			
2	<b>BIRTHS PERCENTAGE</b>	Dmnl	0,4878	0,5122		
3						
4		<b>INITIAL POPULATION</b>		<b>MORTALITY</b>		<b>FERTILITY</b>
5		<b>MALE</b>	<b>FEMALE</b>	<b>MALE</b>	<b>FEMALE</b>	<b>MALE</b>
6	<b>Units</b>	<b>people</b>	<b>people</b>	<b>1/Year</b>	<b>1/Year</b>	<b>1/Year</b>
7	<b>C0</b>	19	15	0	0	0,00
8	<b>C1-2</b>	47	41	0,000512899	0	0,00
9	<b>C3-10</b>	191	172	0	0,000385088	0,00
10	<b>C11-16</b>	169	148	0	0	0,00
11	<b>C17-24</b>	322	280	0	0	0,10
12	<b>C25-44</b>	1220	992	0,0007	0,000766518	0,00
13	<b>C45-64</b>	2080	1657	0,00624	0,00219268	0,00
14	<b>C65+</b>	2590	2927	0,07	0,089901357	0,00
15						

Ilustración 4.20. Base de datos Excel. Elaboración propia.

Además, para facilitar el trabajo a largo plazo, se ha utilizado en Excel el administrador de nombres, el cual permite dotar de un identificador a ciertas celdas o conjuntos de ellas, de manera que mantengan su identificador ante posibles movimientos en las celdas. Su utilidad es visible en la Ilustración 4.20, en la cual se ha renombrado la tabla de poblaciones iniciales bajo el identificador "INITIAL\_POPULATION".

En cuanto a la conexión de Excel y VENSIM, ha sido necesario el uso de la función propia del segundo software GET XLS CONSTANTS.

A continuación, se ejemplifica su uso mediante la población inicial (*INITIAL POPULATION MP*) en la Ecuación 4.46.

*INITIAL POPULATION MP = GET XLS CONSTANTS ( 'excel.xlsx' , 'hoja ' , 'identificador')=*

*GET XLS CONSTANTS('model\_parameters\_SPANDAM.xlsx' , 'Population\_MP' , 'INITIAL\_POPULATION)*

*Ecuación 4.46. Función GET XLS CONSTANTS.*

A modo de anotación, resulta preciso destacar que todas las variables exógenas se han nombrado en VENSIM en mayúsculas, añadiéndolas el sufijo MP<sup>7</sup> en caso de ser extraídas del Excel de parámetros del modelo, o bien SP<sup>8</sup> en caso de provenir desde el Excel de parámetros dependientes de escenarios. Esto contribuye a la facilidad de identificar variables exógenas y endógenas de cara a modelador, mantener unos criterios estandarizados desde el comienzo y a la usabilidad del modelo en su conjunto.

### **STOCK Y FLUJOS:**

No existen stocks ni flujos en el módulo actual.

### **VARIABLES DE INTERÉS:**

No presenta variables de interés utilizadas en el actual módulo.

### **RELACIONES CON OTROS MÓDULOS:**

Existen relaciones con todos y cada uno de los módulos restantes, al ser llamadas todas las variables exógenas al modelo desde el módulo de variables externas.

### **FUTUROS ASPECTOS DE MEJORA:**

En el futuro, podría diferenciarse un módulo de variables externas del modelo y otro de variables externas dependientes de escenarios.

---

<sup>7</sup> Ejemplo. Población inicial: *INITIAL POPULATION MP*.

<sup>8</sup> Ejemplo. Tasa de abandono escolar: *DROP OUT RATE SP*.

## 5. Resultados y discusión

Los resultados del modelo y su posterior discusión, aun no siendo uno de los objetivos prioritarios de este TFG como ya se explicó en el subcapítulo 1.3, toman importancia para el proyecto SPANDAM en su conjunto. Esto es debido a que, en un futuro en donde la fase de modelado se encuentre acabada por completo, serán a partir de lo cual las decisiones del usuario final sean tomadas.

### 5.1 Resultados

Debido a la ausencia de datos reales, con la única excepción de las poblaciones iniciales (INE, 2021b) y mortalidades<sup>9</sup> (INE, 2021a), los resultados obtenidos no son fiables para el caso de estudio. El presente apartado se centrará en analizar de manera superficial los resultados del modelo de mayor importancia a través de una selección de gráficos obtenidos de sus principales módulos.

#### 5.1.1 Módulo demográfico

Inicialmente, los resultados demográficos obtenidos fueron los visibles en el Gráfico 5.1.

Este gráfico muestra un descenso de la población, en color azul, acompañado por un crecimiento vegetativo anual negativo, en color rojo. Esto es debido al envejecimiento previo de la población, el cual conlleva durante la simulación unas mortalidades no compensables por los nacimientos.

---

<sup>9</sup> Mortalidades extraídas de los datos del INE para la provincia de Zamora. Esta fue elegida dada la cercanía geográfica y sus actuales dinámicas de despoblación.

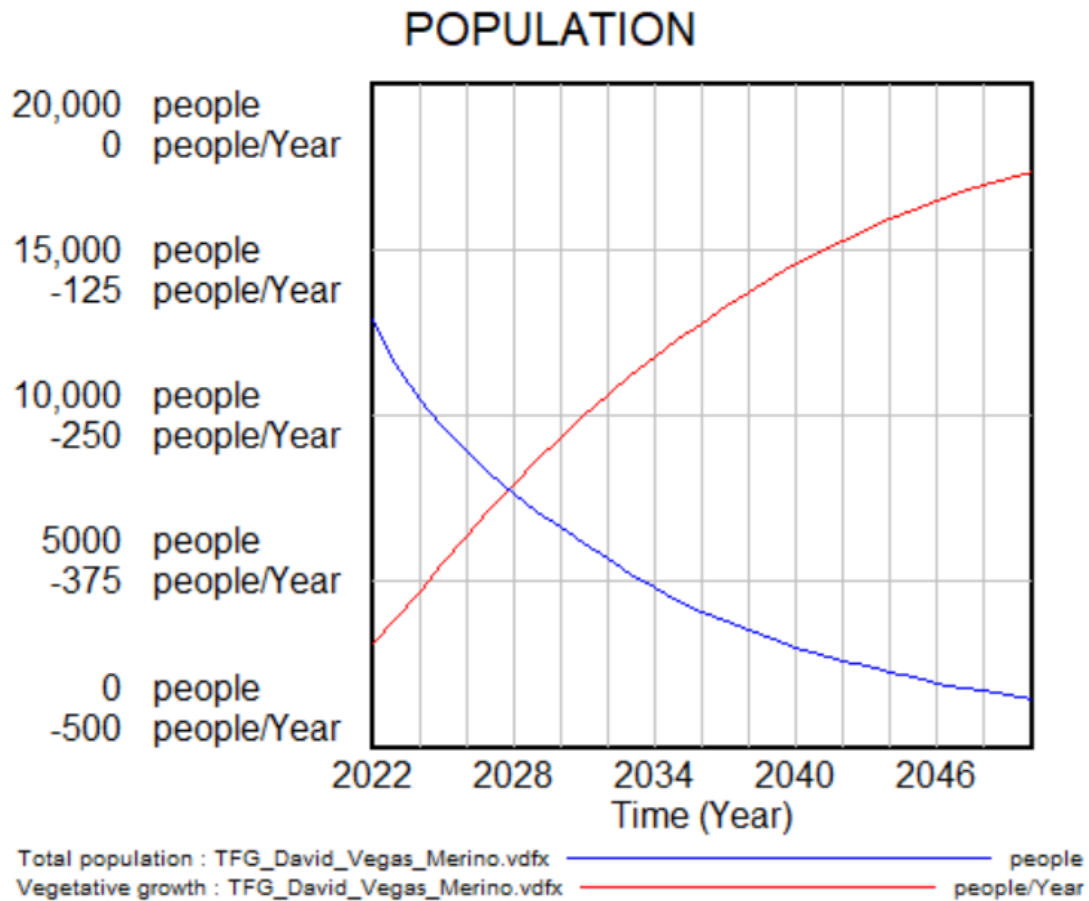


Gráfico 5.1. Evolución población.

#### 5.1.2 Módulo educativo

En cuanto al módulo educativo, habiendo escogido el nivel de educación infantil y primaria, los resultados obtenidos son visibles en el Gráfico 5.2.

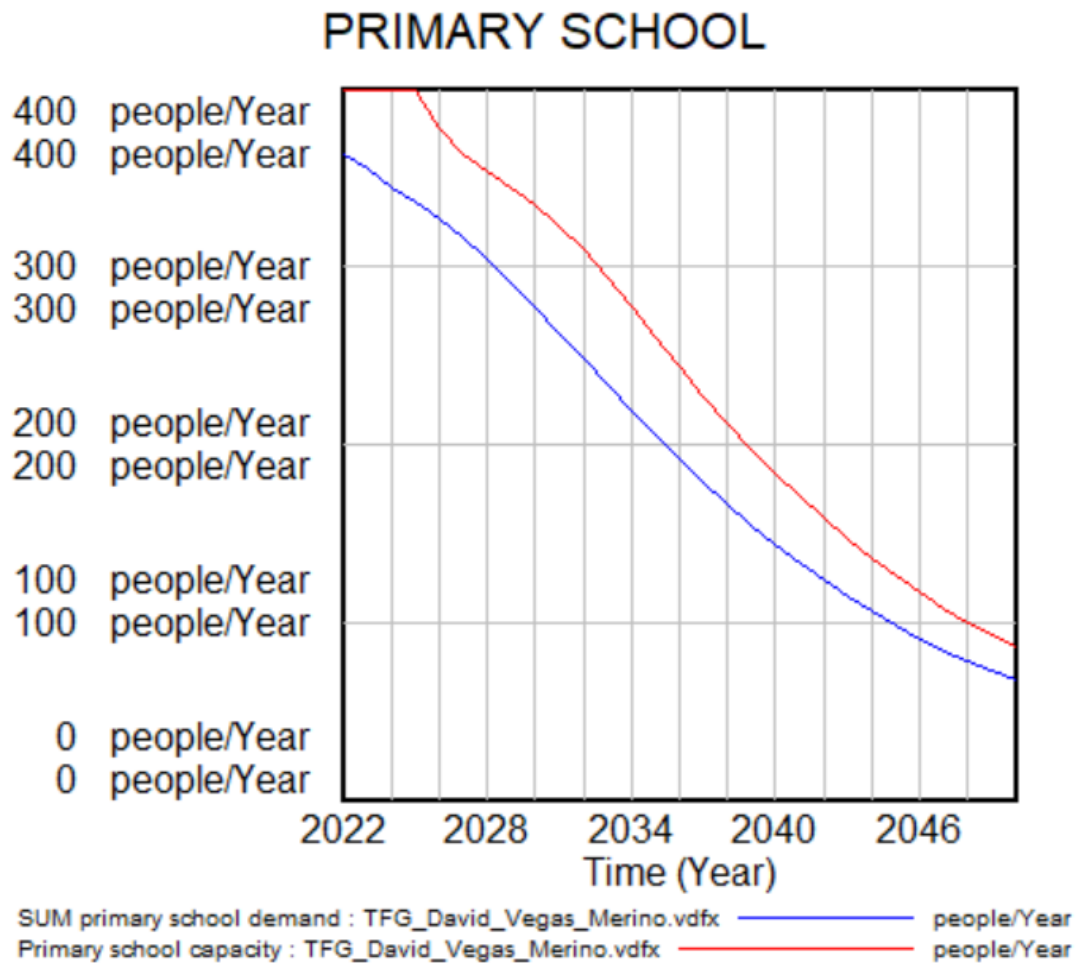


Gráfico 5.2. Evolución educación infantil y primaria.

Sobre este se puede ver cómo, como consecuencia de que la población infantil decrezca (Gráfico 5.1), la demanda de educativa, en color azul, descienda.

A mayores y como consecuencia de este descenso, la oferta educativa de la región, en color rojo, también se ve reducida. Esto es debido a que al disminuir la demanda existe una necesidad negativa de profesores en la región, por lo que tras un cierto retardo son retirados (Gráfico 5.3) de la docencia en dicha región.



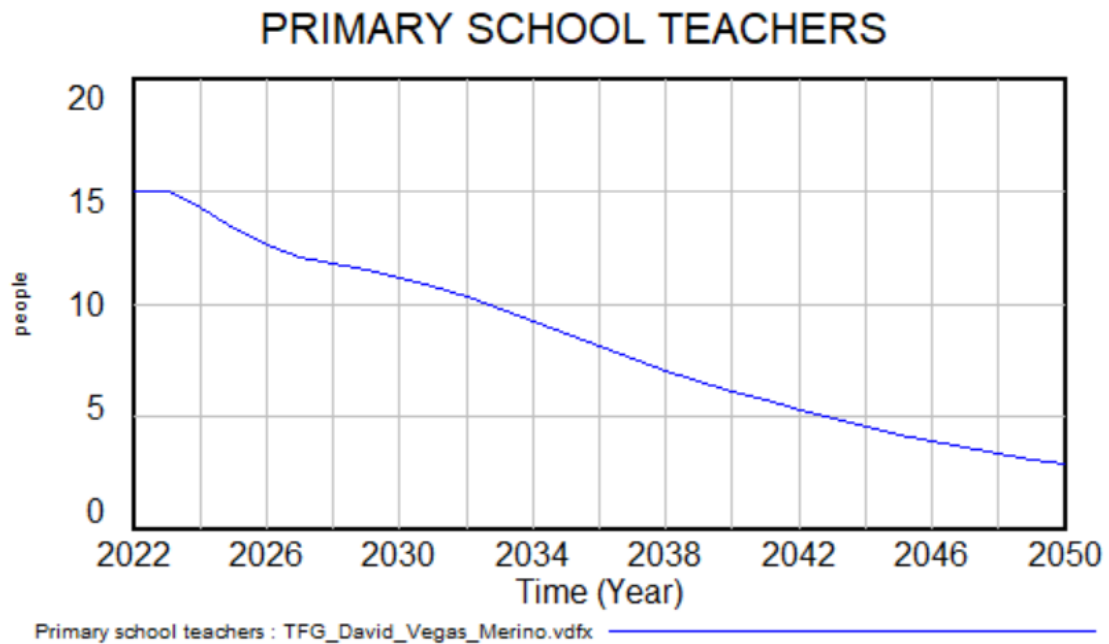


Gráfico 5.3. Evolución profesores educación infantil y primaria.

### 5.1.3 Módulo sanitario

Por otra parte, relativo al sector sanitario en sus centros de salud, estos evolucionan tal y como se ve en el Gráfico 5.4, de manera que satisfagan las necesidades de la población.

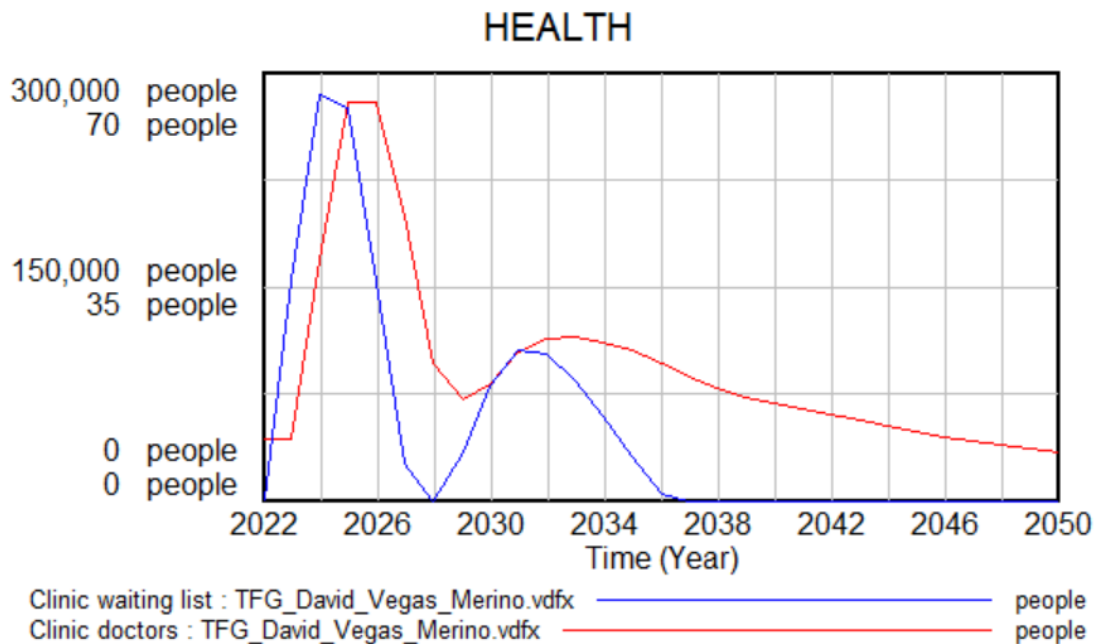


Gráfico 5.4. Evolución centros de salud.

En este se aprecia como en el inicio de la simulación la plantilla médica en centros de salud era inferior a lo demandado por la población, lo que conllevó un incremento de la lista de espera, en color azul.

Teniendo en cuenta dicho desequilibrio inicial, tras un cierto tiempo de reacción los médicos en centros de salud, en color rojo, aumentaron, reduciéndose así la lista de espera hasta valores prácticamente nulos.

Cabe destacar que lo óptimo hubiese sido un comportamiento que evitase el segundo repunte en la lista de espera allá por el año 2031. Este segundo desequilibrio citado es consecuencia del retardo entre necesidad de personal médico y su contratación, de manera que en el momento en que la demanda médica supera a la capacidad de atención, sea necesario un cierto tiempo de reacción hasta que ambas vuelvan a nivelarse.

#### 5.1.4 Módulo económico

En cuanto al módulo económico, destacan el incremento de las capacidades de producción con carácter general (Gráfico 5.5) debido al escenario exógeno de incremento del capital, así como a la disponibilidad de tierras por explotar.

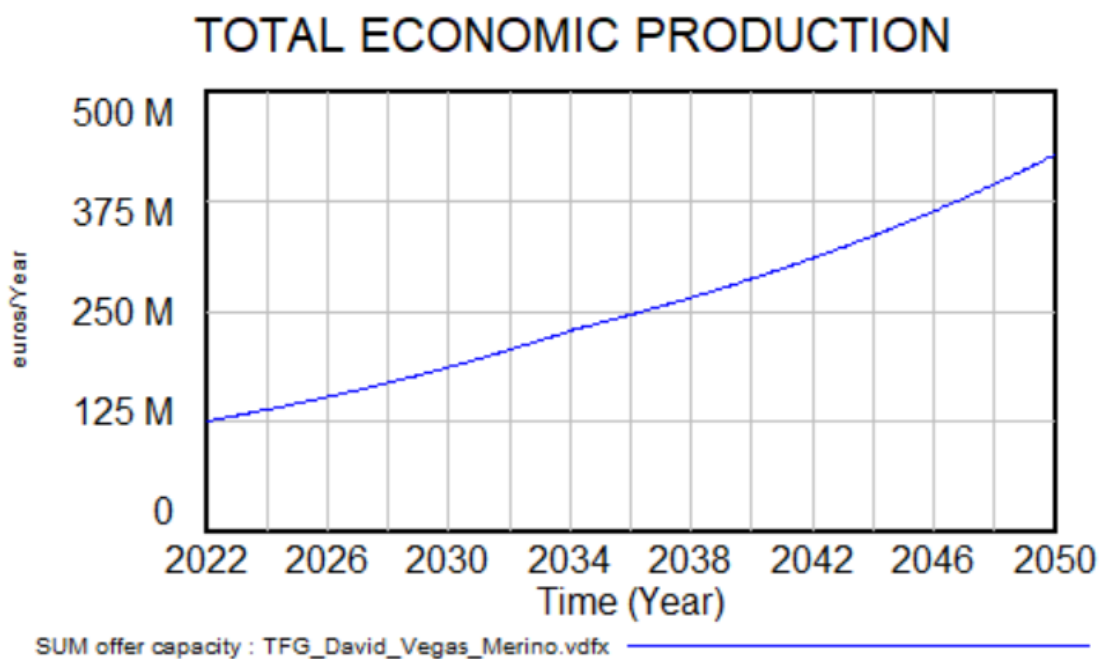


Gráfico 5.5. Evolución producción económica total.

Para el caso particular del sector ganadero (Gráfico 5.6), tiene sentido que un aumento de la producción, en color azul, lleve consigo asociado un aumento de trabajadores del sector. Destaca además el año de simulación 2026, momento en el cual los trabajadores locales, en color rojo, comienzan a descender, cubriéndose la necesidad de producción con trabajadores externos a la región, en color verde.

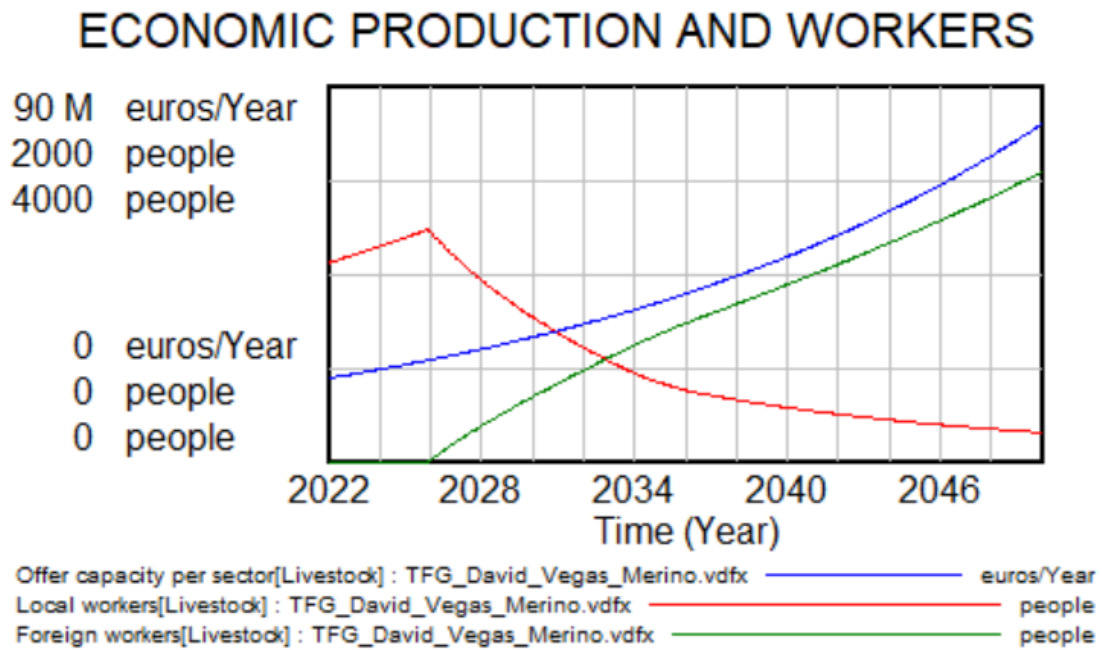


Gráfico 5.6. Evolución sector ganadero.

Esto es debido al momento en el cual la población activa local se encuentra totalmente empleada, siendo la tasa de paro local nula. Como consecuencia, los trabajadores locales deben elegir en que sector trabajar al no poder cubrir la totalidad de los puestos de trabajo solicitados, estando cubiertos la diferencia por trabajadores externos.

Para un grado de detalle mayor se puede apreciar cómo en la Tabla 5.1, entre los años de simulación 2026 y 2027, al alcanzarse una tasa de paro local nula, los trabajadores del sector comienzan a decrecer. La misma dinámica continúa para los años siguientes.

Año:	2025	2026	2027
Tasa de paro local:	13%	0%	0%
Trabajadores locales:	1194	1220	1084
Trabajadores externos:	0	23	209

Tabla 5.1. Tasa de paro local, trabajadores locales y trabajadores externos.

Como enlace hacia el siguiente módulo, el medioambiental, es preciso interpretar la producción económica del sector agrícola sobre el Gráfico 5.7. Esta producción en particular resulta llamativa al decrecer a partir del año 2034, en comparación con la dinámica creciente del resto de sectores económicos.

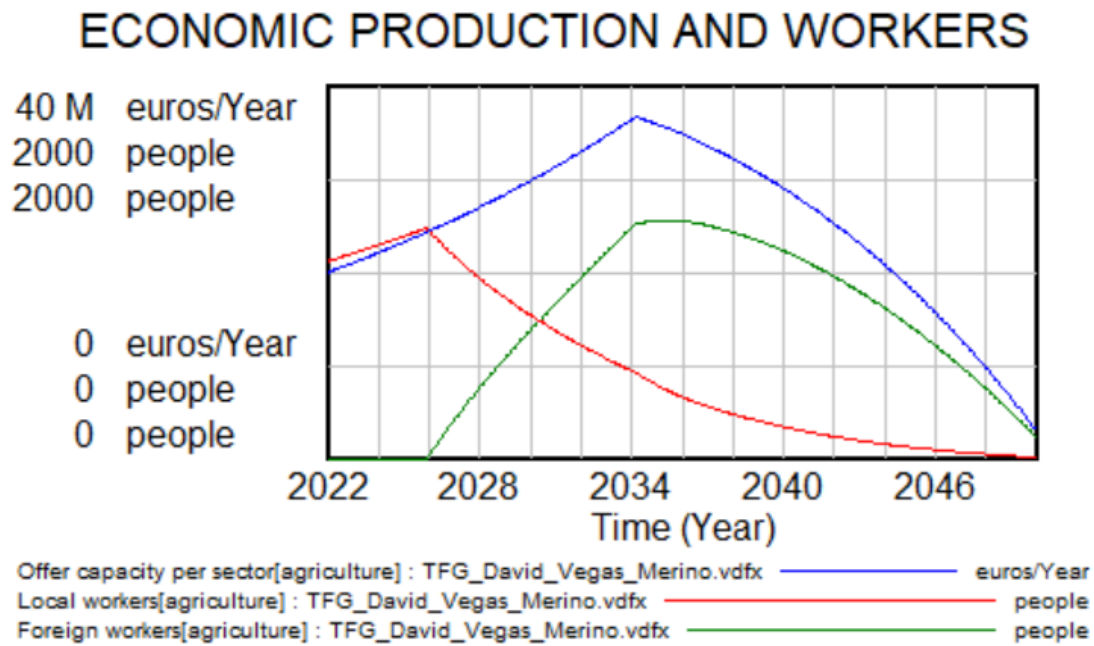


Gráfico 5.7. Evolución sector agrícola.

#### 5.1.5 Módulo medioambiental

La causa que justifica la anterior dinámica decreciente se encuentra en el módulo medioambiental, más concretamente en la distribución del suelo entre sus diferentes usos.

A modo de anotación, cabe destacar que el terreno agrícola es el segundo inferior en la escala de prioridades (Tabla 5.2), solo por delante del terreno natural.

Uso:	Natural	Agricultura	Ganadería	Energía	Urbano
Prioridad:	0	1	2	3	10

Tabla 5.2. Prioridades sobre la distribución de los usos de la tierra.

De esta manera, sobre el Gráfico 5.8 es visible cómo en el momento en que la tierra no natural por explotar, en color azul, llega a valores nulos comienza el declive sobre la tierra agrícola.

Esto se debe a que los usos de la tierra agrícola, ganadero, energético y urbano empiezan en dicho momento una competencia acerca del suelo disponible, siendo el agrícola el que menor prioridad tiene en comparación con los tres restantes. De esta manera, al perderse hectáreas agrícolas, se justifica el declive sobre la producción del Gráfico 5.7.

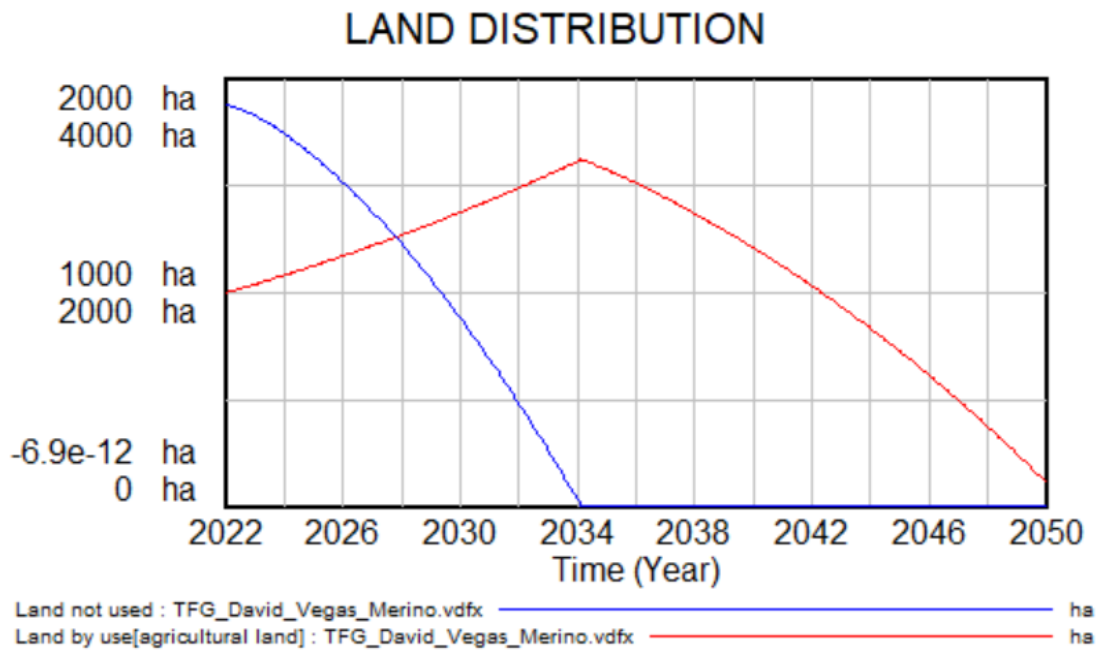


Gráfico 5.8. Evolución del suelo agrícola.

#### 5.1.6 Módulo de atractivos locales

Teniendo en cuenta la dinámica de los módulos explicados entre los subcapítulos 4.2.2 al 4.2.10 toman valores, entre 0 y 1, los indicadores de cada uno de los anteriores.

De esta manera, algunos ejemplos de ello son los indicadores relativos a la tasa de empleo local y de terreno natural conservado, ambos en el Gráfico 5.9.

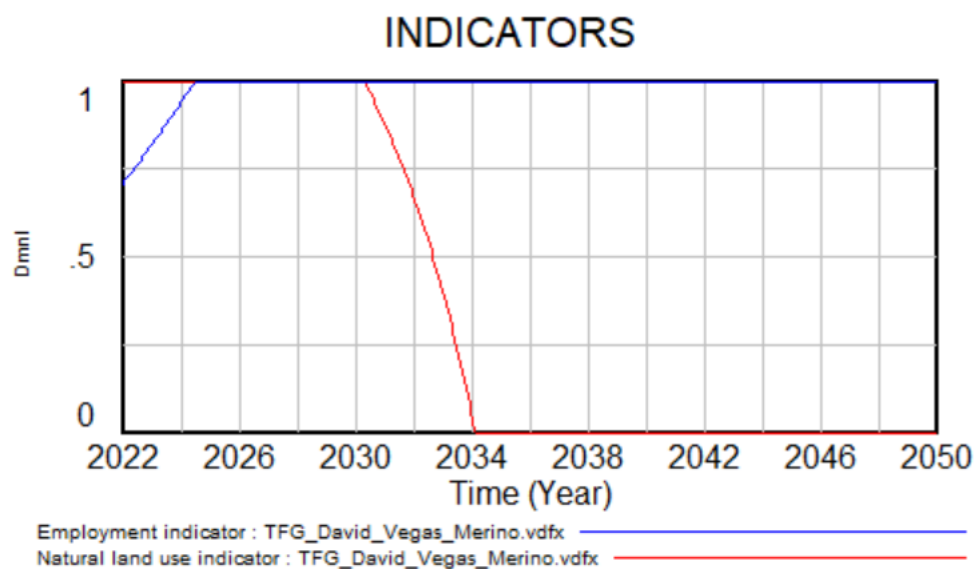


Gráfico 5.9. Evolución indicadores de empleo y uso de la tierra natural.

Para el caso del indicador de empleo, en color azul, es conveniente recordar la Tabla 5.1, en la que se apreciaba como entre los años de simulación 2025 y 2026 se alcanzaba la totalidad de población activa ocupada. Como consecuencia de aquello, el indicador de empleo evoluciona crecientemente hasta alcanzar en el año 2025 un valor igual a uno.

En cuanto al indicador de distribución del suelo natural, en color rojo, se aprecia como el indicador decae progresivamente hasta alcanzar valores nulos en el año 2034. Esto se debe a la disminución del terreno natural en favor del resto (Gráfico 5.8).

Una vez tenidas en cuenta la evolución de la totalidad de los indicadores, así como su respectiva ponderación dentro de la componente a la cual pertenezca, los atractivos locales para cada componente son visibles en el Gráfico 5.10.

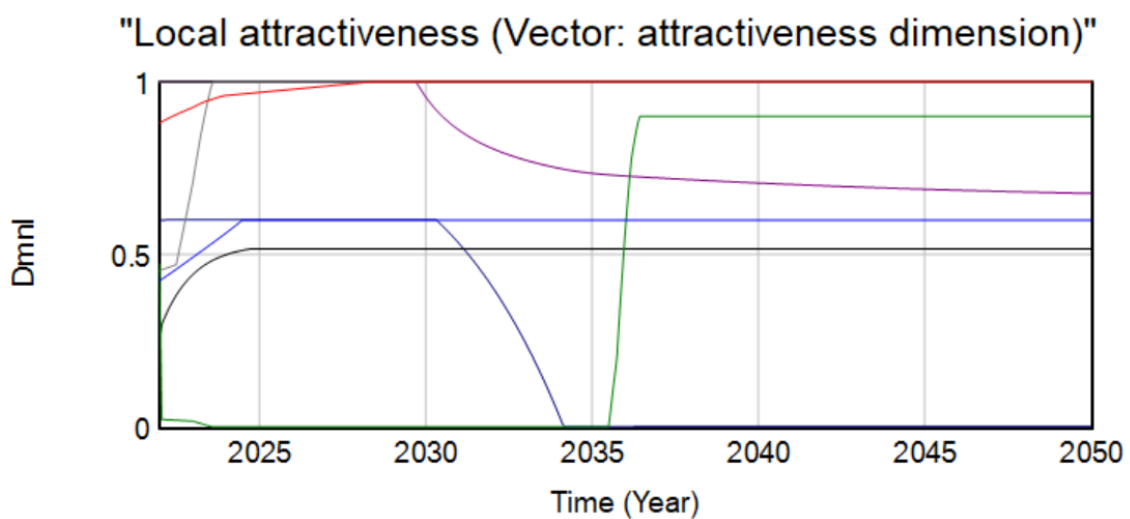


Gráfico 5.10. Evolución componentes del atractivo local.

Posteriormente, tras multiplicar estas componentes por el peso que las atribuye cada cohorte de edad en cuanto a la toma de decisiones migratorias se refiere, se obtiene una valoración ponderada para cada cohorte de edad.

Para el caso particular de la cohorte C65+ (Gráfico 5.11), su valoración del atractivo local para el año 2022 equivale al producto escalar de los vectores visibles en la Tabla 5.3.

Componente:	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	SUMA
Valor 2022:	0,42	0,88	0,47	0,45	0,25	1	1	1	0,6	1
Peso C65+:	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1
Producto:	0,04	0,08	0,04	0,04	0,02	0,1	0,1	0,1	0,06	0,6

Tabla 5.3. Valor componentes de atractivos locales y su ponderación para C65+ en el año 2022.

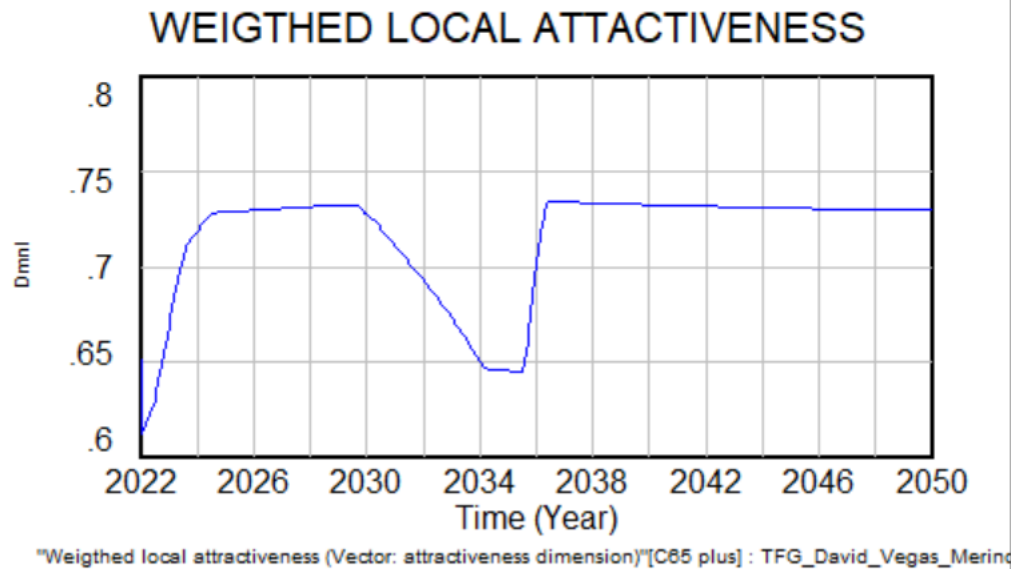


Gráfico 5.1.1. Evolución atractivo local para la cohorte C65+.

La diferencia de valoraciones, nacional y local, para cada cohorte de edad dará lugar a unas migraciones sobre el módulo demográfico que cierran el bucle principal del modelo.

## 5.2 Discusión

Es oportuno tener en cuenta el hecho de que los resultados exactos obtenidos en su conjunto, debido a la ausencia de datos reales, no se corresponden con la realidad. Pese a ello, durante el actual apartado se llevará a cabo una discusión general de estos.

### 5.2.1 Hallazgos principales

De esta manera, a través del modelo se han podido afirmar una serie de hallazgos entre los que destacan tres de ellos.

En primer lugar, se ha comprobado la viabilidad de realizar un modelo a pequeña escala que permita evaluar la factibilidad de diferentes políticas.

En segundo lugar, se observa que los desequilibrios demográficos que sufre el medio rural no parecen solucionables a corto plazo, ni a través de una única política o solución sencilla. Esto es debido a la complejidad a la que está sometida la problemática, ya sea por la cantidad de factores que toman peso en ello, o bien por las múltiples relaciones entre módulos.

De esta manera, todo apunta a que si se pretende atacar el problema tendrá que ser a través de un compromiso a medio-largo plazo y mediante una combinación de políticas.

Por último, se debe tener en cuenta la extrema dificultad de maximizar la totalidad de los indicadores, o lo que es lo mismo, la totalidad de las componentes de atractivo local. La explicación para ello reside en el hecho de que el modelo se encuentra interconectado en su conjunto, de manera que una política en búsqueda de la mejora del indicador X puede originar un descenso del indicador Y. Un ejemplo de ello son la dificultad de maximizar el territorio natural y el desarrollo urbano.

Teniendo en cuenta las diferentes circunstancias de los potenciales casos de estudio, parece previsible que en cada caso la combinación de variables óptimas para el atractivo local sea distinta. La solución más razonable ante esto puede ser la priorización de las mejoras sobre indicadores o componentes que más peso tengan a medio-largo plazo.

### **5.2.2 Resultados inesperados**

Entre los resultados obtenidos de manera inesperada con lo inicialmente supuesto se encuentra la extrema velocidad de pérdida de población del caso de estudio.

Una explicación a este fenómeno es el hecho de que ante una tasa de emigración nula y asumiendo mortalidades y fertilidades constantes en el tiempo, la población de los Arribes del Duero experimentaría un descenso anual de su población del 50% en cuestión de 25 años.

Adicionalmente, si se eliminase la restricción de emigraciones nulas, y teniendo en cuenta la tendencia bajista histórica de la fertilidad en zonas rurales, los resultados podrían ser más vertiginosos si cabe.

### **5.2.3 Limitaciones**

Relacionado con las limitaciones encontradas destacan dos.

En primer lugar, destaca como mayor limitación la ausencia de datos reales para la alimentación del modelo. Esto supuso un contratiempo sobre las hipótesis generales asumidas previa elaboración del modelo, así como sobre uno de los objetivos del TFG.

Como consecuencia de ello, el objetivo relacionado con la aplicación del modelo sobre el caso de estudio de los Arribes del Duero resultó incompleto. Únicamente pudieron disponerse de datos reales y fiables para el módulo demográfico, siendo el resto de ellos una elaboración propia a grandes rasgos que permitiese el funcionamiento del modelo.

Adicionalmente, fue una limitación el tiempo del que se dispuso. La velocidad sobre el progreso en el modelado fue creciendo a medida en que se comprendía mejor la metodología y el contexto del problema. Por ello, considero que si se hubiera



contado con más tiempo de modelado el resultado final hubiese alcanzado una mayor profundidad.

Por último, otra limitación que afectó al TFG fue la escasez de modelos de simulación con finalidad de estudio demográfica.

#### **5.2.4 Líneas futuras de trabajo**

Relacionado con futuras líneas de investigación, el modelo elaborado se ha visto enriquecido a través de una reunión en la que se llevó a cabo una presentación a la totalidad de los socios en busca de *feedback*. En esta reunión, una vez presentado el modelo, se discutió acerca de los principales aspectos de mejora a corto plazo, llegándose a la conclusión mayoritaria de centrar futuros esfuerzos en continuar asentando las bases de los módulos demográfico, sanitario, educativo y económico.

En el caso concreto del módulo demográfico se trabajará a corto plazo en una desagregación más detallada de las cohortes de edad, a la vez que se mantiene la robustez y simplicidad de este.

Relativo al económico se eliminarán algunas de las hipótesis tomadas en un inicio para simplificar su estructura. Aquellas que presentan una mayor prioridad son la endogeneidad de los salarios, impuestos y distribución por sectores de la población activa.

En cuanto a los módulos educativo y sanitario, se realizarán reuniones específicas de trabajo con los socios expertos en dichas áreas.

Por otra parte, a medio plazo se irán incorporando sobre el modelo los resultados que se produzcan en otros paquetes de trabajo acorde con lo planificado en el cronograma del proyecto.

## 6. Conclusiones

Tal y como se ha indicado, este TFG se ha enmarcado en el proyecto SPANDAM, contribuyendo al paquete de trabajo relativo al desarrollo del modelo, “*WP6 - Model Development*”, en los primeros pasos de las tareas 6.1 y 6.2.

Relacionado con estas tareas se ha acabado obteniendo el primer prototipo de modelo local, el cual servirá de base para futuros resultados e informes a entregar. Los detalles de programación han sido explicados durante el capítulo 4. Además, se encuentran complementado por el capítulo 9 y el anejo “*Documentation of SPANDAM – SMD Doc*”.

Algunas de las dificultades encontradas durante la realización fueron sobre todo concentradas en una fase inicial de familiarización con el proyecto. Esto fue debido a la falta de experiencia en la participación de proyectos de investigación y sus metodologías de trabajo. Otra de las dificultades iniciales estuvo relacionada con el manejo del software en su versión completa. Finalmente, como dificultad principal, destaca el hecho de comprender el grado de profundidad buscado en un prototipo como es el desarrollado.

Para todas ellas, fueron frecuentes preguntas con investigadores experimentados del grupo GEEDS. Además, se intercambiaron ideas en materia de dinámica de sistemas.

Acerca de las cualidades técnicas del modelo, a través de una etapa de validación se ha probado su estabilidad ante diferentes escenarios de entrada de datos, así como un comportamiento entre variables acorde con lo esperado según el diagrama causal.

Si bien es cierto que el modelo presenta fortalezas, existen también una serie de aspectos a trabajar a medio-largo plazo. Algunas de estas son: calibración de parámetros, ponderaciones y valores de referencia, análisis de sensibilidad referido a la evolución de ciertos parámetros de importancia clave en el modelo o estudios del comportamiento ante un abanico de escenarios más amplio.

De esta manera, se puede concluir el hecho de que el modelo elaborado, aun estando lejos de ser un resultado definitivo para el proyecto SPANDAM, ha resultado ser un prototipo que cumple con la mayoría de las premisas y objetivos inicialmente planteados para este TFG.



## 7. Valoración personal

Por último, a modo de valoración personal del TFG, considero que ha sido una experiencia muy beneficiosa a nivel personal y académica. Han sido algo menos de 4 meses en los que no únicamente he aprendido en materia de dinámica de sistemas y su aplicación sobre la despoblación. A mayores, he podido conocer de primera mano el funcionamiento de un grupo de investigación multidisciplinar, así como gran parte de los proyectos y algunos de los socios internacionales con los que trabajan.

Aparte, no puedo dejar de mencionar el hecho de haber mejorado mis conocimientos teóricos y prácticos relacionados con la dinámica de sistemas, así como desarrollado una mayor conciencia referida al fenómeno de despoblación en España.

Para finalizar, mirando a futuro me gustaría destacar la asistencia, junto a algunos miembros del GEEDS, al primer congreso interdisciplinar sobre despoblación organizado por la Universidad Autónoma de Madrid. Este tendrá lugar en Ciudad Real durante los días 22 y 23 de septiembre, y supondrá la primera exposición de SPANDAM hacia personas no participantes en el proyecto.



## 8. Bibliografía

- Abu-warda, N. (2008). Las migraciones internacionales. *'Ilu. Revista de Ciencias de Las Religiones*, 33–50.
- Akhtar, M. K. (2011). *A System Dynamics Based Integrated Assessment Modelling of Global-Regional Climate Change: A Model for Analyzing the Behaviour of the Social-Energy-Economy*. 352. <http://ir.lib.uwo.ca/etd/331/>
- Anguera, M. T. (2021). Tema VI. Cuantificación proyección demográfica. *Apuntes UB*, 145–171.
- Aracil, Javier; Gordillo, F. (1997). Modelos de simulación informática del comportamiento. In *Dinámica de Sistemas* (pp. 11–23).
- Bertalanffy, L. von. (1968). The Meaning of General System Theory. *General System Theory*, 30–53.
- Bertoli, S., & Moraga, J. F. H. (2017). Gravity Models in the Migration and Development Nexus. *Revue d'Economie Du Développement*, 25(3–4), 69–91. <https://doi.org/10.3917/edd.313.0069>
- Campigotto, N., Catola, M., Cieplinski, A., & Alessandro, S., Distefano, T., Guarnieri, P., & Heydenreich, T. (2022a). EUROGREENS DOCUMENTATION. Exploring Policy Interventions for a Just Low-Carbon Transition: A Scenario Discovery Approach. *SSRN Electronic Journal*, Id 100010434. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4012862>
- Campigotto, N., Catola, M., Cieplinski, A., & Alessandro, S., Distefano, T., Guarnieri, P., & Heydenreich, T. (2022b). EUROGREENS PAPER. Exploring Policy Interventions for a Just Low-Carbon Transition: A Scenario Discovery Approach. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4012862>
- Capellán-Pérez, I., De Blas, I., Nieto, J., De Castro, C., Miguel, L. J., Carpintero, Ó., Mediavilla, M., Lobejón, L. F., Ferreras-Alonso, N., Rodrigo, P., Frechoso, F., & Álvarez-Antelo, D. (2020). MEDEAS: A new modeling framework integrating global biophysical and socioeconomic constraints. *Energy and Environmental Science*, 13(3), 986–1017. <https://doi.org/10.1039/c9ee02627d>
- Carpintero, Ó., Nieto, J., Miguel González, L. J., Mediavilla, M., & Capellán-Pérez, I. (2021). *MODESLOW - Jornadas de Economía crítica*.
- Cisneros, M. (2022). *Análisis de escenarios para modelos de simulación de equilibrio demográfico en España*.
- Comisión Europea. (n.d.). *Desarrollo rural - Política Regional - Comisión Europea*. Retrieved June 12, 2022, from [https://ec.europa.eu/regional\\_policy/es/policy/themes/rural-development/](https://ec.europa.eu/regional_policy/es/policy/themes/rural-development/)
- Cruz Roja. (n.d.). *Las dificultades de vivir en la España despoblada*. Retrieved June 7, 2022, from <https://www2.cruzroja.es/web/ahora/-/informe-espana-despoblada>

- Davies, E. G. R., & Simonovic, S. P. (2010). ANEMI: a new model for integrated assessment of global change. *Interdisciplinary Environmental Review*, 11(2/3), 127. <https://doi.org/10.1504/ier.2010.037903>
- de Blas Sanz, I., Capellán-Pérez, I., Álvarez Antelo, D., Miguel González, L. J., Crespo, Y., Parrado Hernando, G., Mediavilla, M., & Llases Gnzález, L. (2021). *Interim synthesis of the model , selected results and scenario analysis*. 2(821105).
- Dieghernan. (2020). *Population per km2 by municipality in Spain (2019)*. Wikipedia. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Population\\_per\\_km2\\_by\\_municipality\\_in\\_Spain\\_\(2019\).svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Population_per_km2_by_municipality_in_Spain_(2019).svg)
- Fresno Consulting Group. (2022). *SPANDAM Web*. <https://spandam.es/>
- GEEDS. (2021). *Proposal SPANDAM*.
- GEEDS. (2022). *GEEDS Web*. <https://geeds.es/>
- INE. (1998). *Población por edad 1998 (grupos quinquenales), Españoles/Extranjeros, Sexo y Año*. <https://www.ine.es/jaxi/Datos.htm?path=/t20/e245/p08/I0/&file=01002.px#!tabs-tabla>
- INE. (2021a). *Fenómenos demográficos por comunidades y ciudades autónomas y tipo de fenómeno demográfico(6567)*. <https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=6567>
- INE. (2021b). *INEbase / Demografía y población / Padrón. Población por municipios / Estadística del Padrón continuo / Últimos datos*. [https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica\\_C&cid=1254736177012&menu=ultiDatos&idp=1254734710990](https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736177012&menu=ultiDatos&idp=1254734710990)
- INE. (2021c). *Población por edad 2021 (grupos quinquenales), Españoles/Extranjeros, Sexo y Año*. <https://www.ine.es/jaxi/Datos.htm?path=/t20/e245/p08/I0/&file=01002.px>
- Jiang, H., & Simonovic, S. P. (2021). *ANEMI\_Yangtze A regional integrated assessment model for the Yangtze Economic Belt in China*.
- Junta de Castilla y León. (n.d.). *La futura Estrategia de Dinamización Demográfica de Castilla y León 2021-2027 se incorporará a los Presupuestos Generales de la Comunidad y contará con un cronograma e indicadores de seguimiento y evaluación | Comunicación | Junta de Castilla y León*. Retrieved June 12, 2022, from <https://comunicacion.jcyl.es/web/jcyl/Comunicacion/es/Plantilla100Detalle/1284882231857/NotaPrensa/1285095747998/Comunicacion>
- Klabunde, A., & Willekens, F. (2016). *Decision-Making in Agent-Based Models of Migration\_ State of the Art and Challenges*.
- Martin Garcia, J. (2003). *Teoría y ejercicios prácticos de dinámica de sistemas*. <http://dinamica-de-sistemas.com/libros/sistemas.htm>

- Martín García, J. (2006). *Aplicaciones prácticas de la Dinámica de Sistemas en un mundo complejo*. <http://www.dinamica-de-sistemas.com/revista/0307a.htm>
- Mediavilla, M., & Miguel, L. J. (2021). *Tema 1 Dinámica de Sistemas Complejos*.
- Miguel Gonzalez, L. javier. (2015). *Diagnóstico de la educación para el desarrollo en el ámbito rural*.
- Miguel, L. J. (2021a). *Perspectiva general del modelo y puntos clave SPANDAM. Kick off meeting*.
- Miguel, L. J. (2021b). *SPANDAM Kick off Meeting WP6*.
- Ministerio para la Transición ecológica y el Reto Demográfico. (n.d.). *¿Qué es el Reto Demográfico?* Retrieved June 12, 2022, from <https://www.miteco.gob.es/es/reto-demografico/temas/que-es/>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (n.d.). *Vicepresidenta Tercera del Gobierno y Ministra para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico*. Retrieved June 12, 2022, from <https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/funciones-estructura/organigrama/Ministra-MITECO.aspx>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020). *Plan de recuperación: 130 medidas frente al reto demográfico*. 129.
- Pinilla, V., & Sáez, L. A. (2017). La Despoblación Rural en España: Génesis de un problema y políticas innovadoras. *Centro de Estudios Sobre Despoblación y Desarrollo de Áreas Rurales*, 24. <http://www.reis.cis.es/REIS/jsp/REIS.jsp?opcion=articulo&ktitulo=2465&autor=JUAN+MANUEL+GARC%C3%80+CDA+GONZ%C3%80+LEZ>
- Purvis, B., Mao, Y., & Robinson, D. (2022). A multi-scale integrated assessment model to support urban sustainability. *Sustainability Science*, 17(1), 151–169. <https://doi.org/10.1007/s11625-021-01080-0>
- Renau, R. (2018). *Despoblación y abandono de la España rural. El imposible vencido. March*.
- Sáez Pérez, L. A., Pinilla Navarro, V., & Ayuda Bosque, M. I. (2001). Políticas ante la despoblación en el medio rural: un enfoque desde la demanda. *Ager*, 1, 211–232.
- Silvestre Rodríguez, J. (2000). *Aproximaciones teóricas a los movimientos migratorios contemporáneos: Un estado de la cuestión*. 20, 157–192.
- Sterman, J. D. (2004). Systems Thinking and Modeling for a Complex World. In *Interfaces* (Vol. 34, Issue 1). <http://www.lavoisier.fr/notice/frJWOAR6SA23WLOO.html>
- Wikeless, F. J., & Drew, P. (1984). *A multiregional model for regional demographic projections*.
- Zamora Verdejo, E. (2021). *Requerimientos materiales de la transmisión y*



*distribución de la electricidad para la transición energética.*  
<https://uvadoc.uva.es/handle/10324/47987>

## 9. ANEXO: SPANDAM SMD – Doc

A continuación, se muestran algunos de los datos más significativos del modelo en su conjunto. Estos han sido seleccionados de entre la documentación generada por la herramienta SMD-Doc.

Relativo al tiempo del modelo:

- **Unidades temporales:** años.
- **Tiempo inicial:** 2022.
- **Tiempo final:** 2050.
- **Tiempo de paso:** 0,0625 años.

Relativo a las variables del modelo:

- **Cantidad de subscripts:** 9.
- **Cantidad de variables:** 573 no vectoriales. 1613 vectoriales.
- **Cantidad de variables endógenas:** 218 vectoriales. 758 vectoriales.
- **Cantidad de variables exógenas:** 355 no vectoriales. 855 vectoriales.
- **Cantidad de stocks:** 49 no vectoriales. 101 vectoriales.
- **Cantidad de flujos:** 74 no vectoriales. 151 vectoriales.
- **Cantidad de contantes:** 210 no vectoriales. 750 vectoriales.
- **Cantidad de relaciones entre variables:** 907 no vectoriales. 2288 vectoriales.
- **Cantidad de bucles de realimentación:** 73.

Relativo a las unidades del modelo:

- **Unidades utilizadas en el modelo:** 16.
- **Unidades combinadas utilizadas en el modelo:** 44.

La documentación completa se encuentra en el anejo “*Documentation of SPANDAM – SMD Doc.pdf*”. Este proporciona información detallada acerca de que variables son utilizadas en cada módulo, sus ecuaciones, comentarios o relaciones causales.