

## Un simulador de un modelo poblacional y su caja previsional

**Abstract.** By building a system dynamics simulation platform from a demographic model, this document analyzes the behavior of the population over time, as well as the population of the social security system. Simulation results show that there will be different types of problems in the future and will allow the Government to anticipate them. Due to the simplicity of its construction, it is very easy to implement in different regions with different precepts.

**Keywords:** Sistema dinámico, Modelo demográfico, Población, Tasa, Sistema previsional

### 1 Introducción

Predecir el comportamiento de la población a lo largo del tiempo es un hecho extraordinario tanto desde el punto de vista académico y social como económico. La población de cada época específica afecta en gran medida a muchas variables económicas.

Una de ellas es el sistema previsional, el cual no solo se ve influenciado por la población en un momento dado sino también por la historia reciente de esa región en materia de población. [1]

El aporte que realizan los trabajadores puede ser considerado como el principal ingreso de los sistemas previsionales. A su vez, la caja previsional puede considerarse como su mayor egreso al monto de las jubilaciones que se pagan a las personas vivas en edad jubilatoria.

Si bien el sistema previsional es el encargado de aportar recursos cada país es el delegado de determinar su sistema previsional. Además, en una misma región puede haber múltiples sistemas jubilatorios que funcionen de manera independiente y con sus propias particularidades. Sin embargo, en términos de macroeconomía existe una relación directa entre aquellas personas que aportan parte de sus ingresos para un fondo jubilatorio y aquellos que perciben una pensión de ese mismo fondo. Conservando esta relación es posible simplificar un sistema previsional como una caja negra. Dicha caja percibe ingresos, aportes, y extracciones ya sea jubilatorias o de otro tipo.

El estado pueda adoptar políticas de gobierno que puedan anticiparse tanto a una oportunidad beneficiosa para el país como a un determinado efecto negativo en la sustentabilidad del sistema previsional, de tal forma de contrarrestarlo.

Afrontar estrategias de gobierno de gran magnitud para afectar significativamente el sistema previsional es, además de costoso, extremadamente riesgoso, y por esto es necesario partir de una simulación representativa de la realidad para poder analizar y experimentar dichas políticas para luego elegir las más apropiadas.

El objetivo de este trabajo es presentar un modelo de simulación del comportamiento poblacional de un país y la vinculación del mismo con la caja previsional. Además,

2

experimentar y analizar la sensibilidad que tiene dicho modelo ante pequeños cambios en distintos escenarios.

## 2 Estado del arte

Muchas personas han quedado en la historia por el hecho de estudiar modelos demográficos. Esto nos da la pauta de que resulta de gran importancia su estudio para su buen entendimiento y futuro buen trabajo con el mismo. En el año 1846 Thomas Malthus, británico con gran influencia en la demografía, expone una serie de proposiciones fundamentales al igual que una serie de teorías, entre ellas el Maltusianismo, la cual resultó ser una de las grandes teorías demográficas [2]. Alfred James Lotka, reconocido entre otras cosas por su estudio y trabajo en dinámica de la población, realiza diferentes estudios sobre demografía durante el siglo XX [3].

Estudios interdisciplinarios internacionales realizaron investigaciones sobre el crecimiento urbano y el crecimiento económico de las comunidades autonómicas españolas y trabajaron sobre un modelo de simulación en dinámica industrial en el año 2010 [4]. Dicho estudio al igual que este toman como ejemplo a España para presentar el modelo. Además, en ambas investigaciones el procedimiento de modelado seleccionado ha sido la Dinámica de Sistemas. Sin embargo, la cantidad de tasas utilizadas en la investigación del crecimiento urbano y económico de las comunidades españolas son diferentes que las presentadas en este estudio ya que se tienen en cuenta cuestiones más específicas del suelo.

## 3 Construcción del modelo

### 3.1 Perspectiva general y supuestos

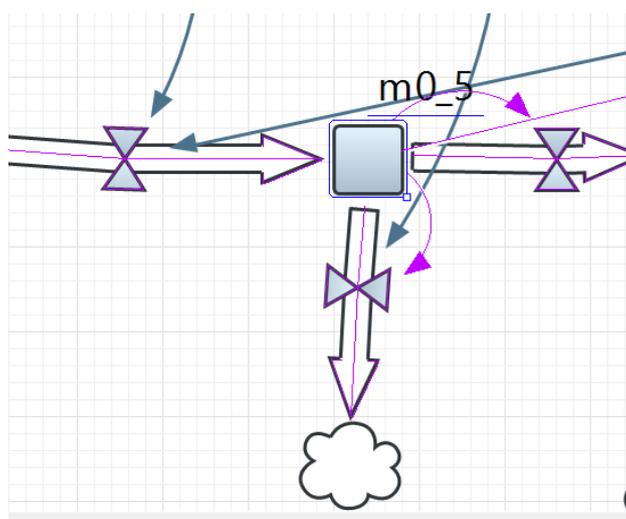
El modelo de simulación está desarrollado bajo el paradigma de sistemas dinámicos desarrollado por Forrester [5]. El mismo se podría dividir en dos partes, las cuales se encuentran vinculadas: el subsistema poblacional y el subsistema de la caja previsional.

El software elegido para desarrollarlo fue AnyLogic [6]. Se realizaron una serie de supuestos con fines de simplificar la algoritmia del modelo, pero sin perjudicar en demasía el éxito de la simulación. A continuación, listamos una serie de simplificaciones realizadas:

- Se contempla la población hasta los 100 años inclusive.
- No existe diferencia entre los integrantes de un estrato: matemáticamente comparten toda la misma tasa de mortalidad, se considera que el número de personas de cada año dentro del estrato tienen la misma edad.
- Solo existen tres tasas de mortalidad (infantil, adolescente y adultos): este es el grupo de tasas que adopta el banco mundial al publicar sus informes [7].
- La caja previsional percibe sólo un ingreso considerando aportes, y un egreso, el cual son las pensiones.
- Todas las personas en edad laboral trabajan y a partir de la edad jubilatoria todas reciben jubilación.

- La simulación se basa en un futuro en el que no se contemplan hechos irregulares. Se supone que este futuro, a pesar de ser incierto no incurre en anomalías. Nos referimos a que en ocasiones la simulación no arrojará resultados correctos ya que no se contemplaron hechos como guerras, enfermedades u otros sucesos poco probables.

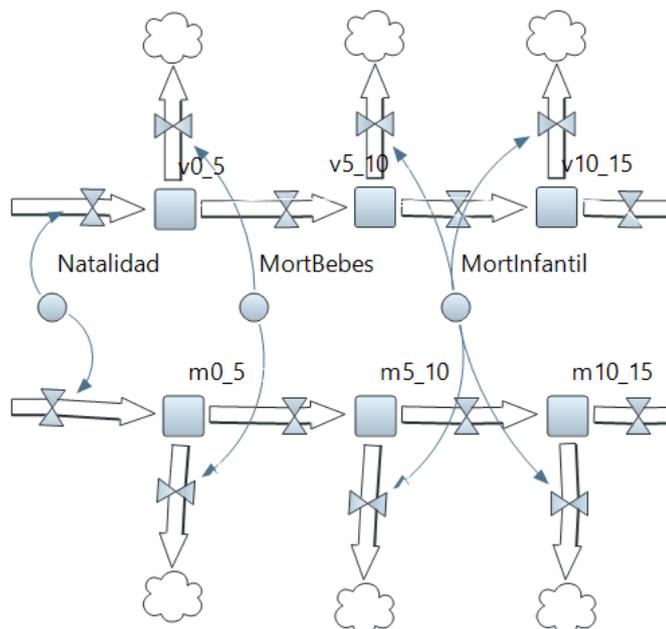
### 3.2 Construcción del subsistema poblacional



**Figura. 1.** Modelo de un estrato

En primer lugar, definiremos la unidad básica del modelo, que es el estrato. Toda la población está dividida en varones y mujeres y a su vez estos dos grupos están divididos en estratos etarios, en rangos de 5 años, de 0 a 100 años. En la Figura 1 podemos ver un estrato correspondiente a las mujeres de 0 a 5 años. Dentro de esa caja estarán representadas todas las mujeres que en determinado momento de la simulación se encuentren dentro del rango correspondiente.

Cada caja tiene una flecha de entrada y dos de salida, es decir que hay una única forma de ingresar al estrato y dos de salir. La forma de ingresar es por medio de un nacimiento (como es el caso de la Figura 1) o de que hayan superado el rango de edad del estrato anterior. Las dos formas de salir son: por haber superado la edad del estrato en el que se encuentran, simbolizado por la flecha que une al siguiente estrato, o bien por defunción, señalado por la flecha que finaliza en una nube. Estas representaciones pueden verse en la Figura 2.



**Figura. 2.** Estratos y tasas

En esta figura se pueden ver los dos estratos, varones arriba y mujeres abajo, representados por tres variables stocks<sup>1</sup> concatenadas. Cada flecha representa una tasa. Puede ser la tasa de natalidad en los primeros estratos; la tasa de crecimiento, es decir el ritmo con que se pasa de un estrato a otro (que es constante y el mismo para todos) ya que todos crecemos en edad al mismo ritmo; o la tasa de mortalidad la cual varía según en el estrato que estemos evaluando.

Las tasas simbolizadas con las flechas se ven afectadas con las variables dinámicas (representadas por los círculos)<sup>2</sup>. Esta vinculación entre las tasas y las variables dinámicas permite expresar las primeras en términos de una función matemática. Para nuestro caso utilizamos la adaptación de la función exponencial a una forma de la curva representativa de la tasa.

<sup>1</sup> Variable cuya cantidad se mide en un determinado momento del tiempo.

<sup>2</sup> Esto se da porque en AnyLogic no se permiten poner funciones en términos de una variable en la definición de una tasa por lo que se las debe afectar a una “variable dinámica” que no es más que una función que en cada instante adopta un determinado valor según la función que la define.

### 3.3 Desarrollo del subsistema previsional

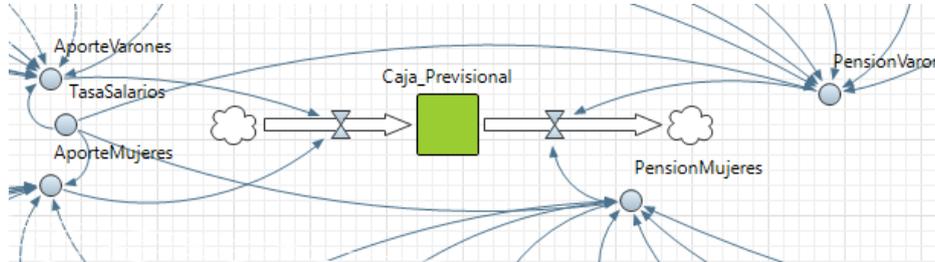


Figura. 3. Subsistema previsional

Nuestra caja previsional cuenta con solo dos tasas que afectan a la variable stock. a tasa de ingreso a su vez recibe, en cada momento de simulación, el monto de dinero aportado. Para calcular ese valor se utilizan variables dinámicas que almacenan el número de personas que existen en los estratos que corresponden a las edades laborales. La variable dinámica en su definición calcula el porcentaje del sueldo que aportan. En esta definición se puede diferenciar el sueldo por estrato. Puede incluirse además desempleo por estrato, ya que al contar con el número de personas por estrato solo hace falta definir algunas pocas operaciones matemáticas para que se contemple con la mayor exactitud posible la realidad que se quiera simular. Por ejemplo, si tenemos un 5% de desempleo desde los varones y mujeres de 20 a 30 años, hay que multiplicar por 0.95 a los 4 estratos de personas relacionados (de 20 a 25 y de 25 a 30 para varones y mujeres) y aplicarle el aporte a realizar.

También se incorporó una variable dinámica denominada “Tasa de salarios” que permite que los sueldos se actualicen con una ley. Esto es muy útil a la hora de reflejar inflación, un fenómeno muy en muchas economías. Para modelar esto debemos utilizar una función matemática.

### 3.4 Herramientas gráficas de análisis incluidas

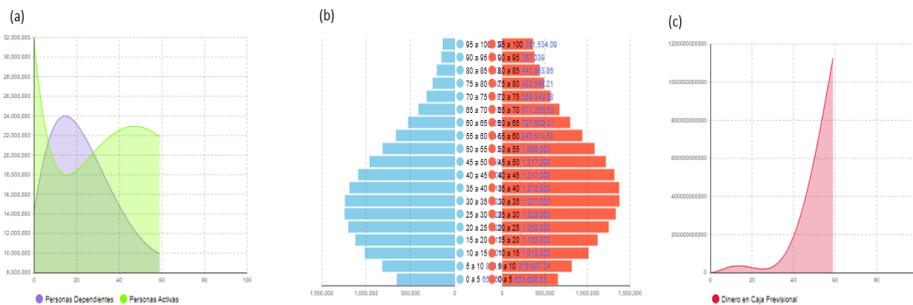


Figura. 4. Gráficos desarrollados en el simulador para análisis. (a) Relación entre personas activas y personas dependientes. (b) Pirámide poblacional. (c) Dinero en caja previsional en función del tiempo

La representación visual de la construcción del subsistema de población se presenta en la Figura 4 (b). Este gráfico representa una pirámide poblacional [8] donde se detallan mediante gráficos de barras horizontales las cantidades de personas dependiendo el rango de edad y sexo de la población. El color celeste representa la población masculina mientras que el color rojo a la población femenina. Inicialmente la pirámide contendrá los datos iniciales y a medida que avance el tiempo la misma tendrá variaciones en sus diferentes estratos.

La figura 4 (c) refiere a la representación visual de la caja previsional. La misma está conectada directamente con el desarrollo del subsistema previsional. El gráfico representa el dinero contenido en la caja previsional en función del tiempo. Inicialmente el gráfico contendrá el dinero registrado manualmente y a medida que avance el tiempo el mismo sufrirá las variaciones correspondientes. En el caso de que la curva se trace en la parte superior derecha de la gráfica nos indica que ese periodo es positivo o favorable para la caja y en el caso de que la curva se trace sobre la parte inferior derecha todo indica que el monto de la caja previsional es negativo.

El gráfico detallado en la figura 4 (a) esboza una representación en un instante determinado acerca de la cantidad de la población que es dependiente de otra y la cantidad de la población que no es dependiente de nadie. Esta dependencia es referida al dinero. El gráfico registra un número de la población en función del tiempo. Allí se trazan dos curvas al mismo tiempo para obtener los datos en un mismo instante de tiempo determinado. La curva verde hace referencia a las personas activas, entre 15 y 65 años, y la curva gris señala a la población dependiente es decir aquellos menores a 15 años y mayores a 65 años.

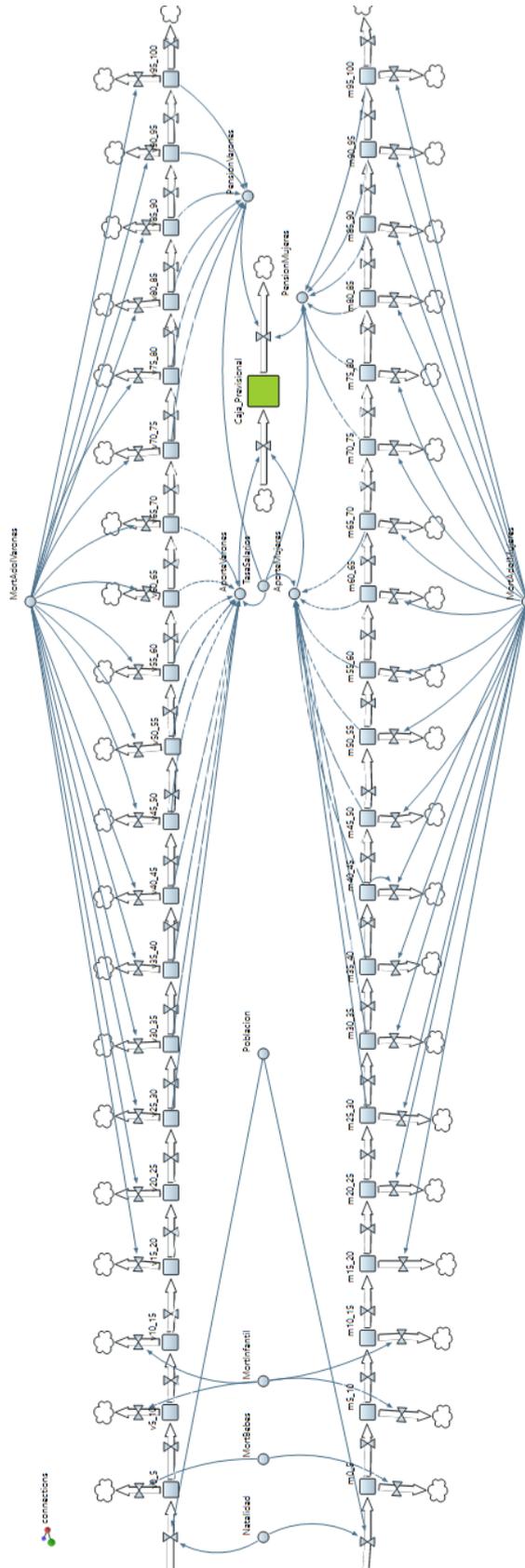


Figura. 5. Estructura del modelo general de simulación

Como se puede observar en la Figura 5 El modelo presenta dos grupos de variables stocks<sup>3</sup> representadas gráficamente por cuadrados, estas variables indican el número de personas en diversos estratos etarios. Cada grupo es una concatenación de stock, estos grupos hacen referencias a los varones y mujeres, también se pueden observar algunos círculos que afectan por medio de flechas a los stocks, estos círculos hacen referencias a variables dinámicas que afectan tanto tasas como acumuladores. En el centro de las cadenas de variables stocks se encuentra el subsistema de la caja previsional, el cual, como se puede visualizar gráficamente se encuentra fuertemente vinculado al subsistema poblacional.

## 4 Análisis de los resultados de una simulación

### 4.1 Caso simulado

Para mostrar el funcionamiento de nuestro modelo decidimos simular el país de España, ya que presenta una situación demográfica delicada debido a tasa constantemente decreciente tanto en mortalidad como en natalidad, por lo que se teme a futuro un peligroso envejecimiento de la población. [9]

Otro de los motivos que nos lleva a elegir este país para una futura simulación es su disponibilidad numerosas estadísticas provistas especialmente por el Instituto Nacional de Estadísticas de España (INE) [10] y el Banco Mundial [7]. Además de dichas estadísticas existen también aproximaciones a futuro de la situación demográfica y poblacional, algo que es muy útil a la hora de validar la simulación.

El simulador establece su tiempo 0 en 2008 y su iteración es anual, ya que los datos conseguidos son también anuales. La simulación inicia en el año 2008 debido a ciertas complejidades que existieron a la hora de aproximar las diferentes tasas (El 2008 fue un año irregular para la dinámica poblacional de España, según se puede observar en los datos del Banco Mundial) [7].

Los supuestos en los que se basa esta simulación son:

- Todos los integrantes de estratos en edad laboral trabajan, y todos a partir de la edad jubilatoria cobran jubilación.
- El sueldo de todos es el mismo (sueldo promedio de España<sup>4</sup>), se actualiza para todos igual cada año, las jubilaciones son las mismas para todos (jubilación promedio de España). [11]
- El porcentaje de aporte es el mismo (porcentaje de aporte promedio de España).

---

<sup>3</sup> Variable cuya cantidad se mide una sola vez.

<sup>4</sup> Si bien el promedio no es la medida más adecuada para resumir los sueldos y jubilaciones, ha sido la información más precisa que pudimos recabar con respecto a la situación laboral y previsional de España.

### 4.2 Análisis de una simulación a 60 años

A la hora de simular un proceso es útil poder analizar los estados intermedios que llevan a resultado de la simulación. Por esto mostraremos no solo el estado inicial sino también un estado intermedio y el final de la simulación propuesta.

El archivo de Anylogic con el que se realizó esta simulación está disponible en <https://github.com/Departamento-Sistemas-UTNFRRO/SimuladorPoblacionalyPrevisional>. Este archivo fue probado con la versión de Anylogic 8.5.2.

#### Estado inicial.

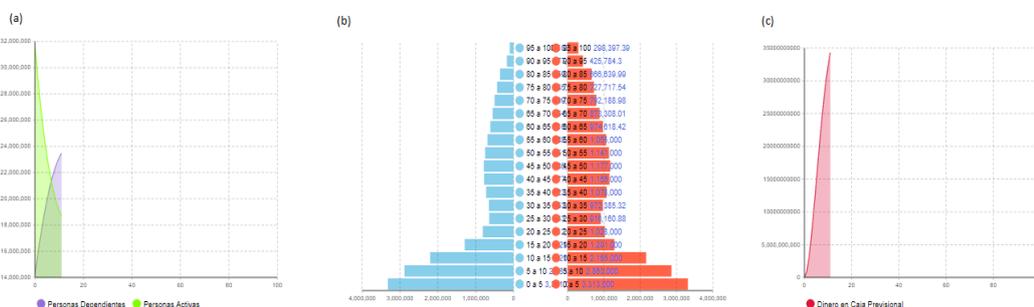
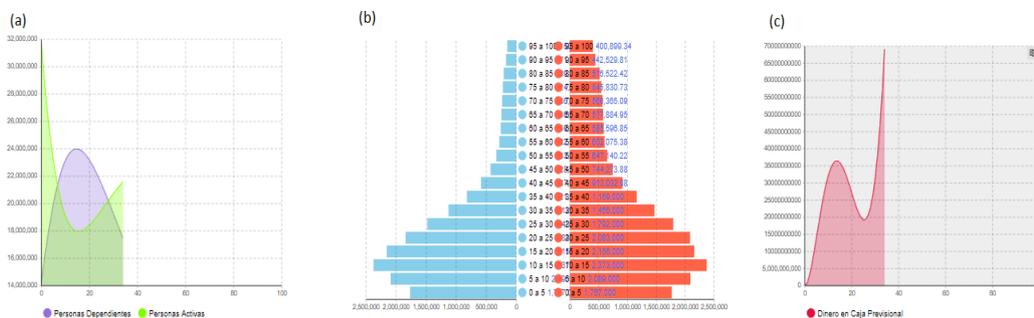


Figura. 6. Gráficas del año 10 de la simulación. (a) Relación entre personas activas y personas dependientes. (b) Pirámide poblacional. (c) Dinero en caja previsional en función del tiempo.

La simulación inicia en el año 2008, por lo que la Figura 6 hace referencia al año 2018 del país ibérico. Como se puede observar la pirámide poblacional (Figura 6 (b)) presenta una forma piramidal, con una elevada natalidad. El número de ancianos y niños frente a la población en edad laboral es alto (Figura 6 (a)) pero los aportes de esta última alcanzan para poder mantener la caja previsional en positivo (Figura 6 (c)) y con una elevada tasa de crecimiento.

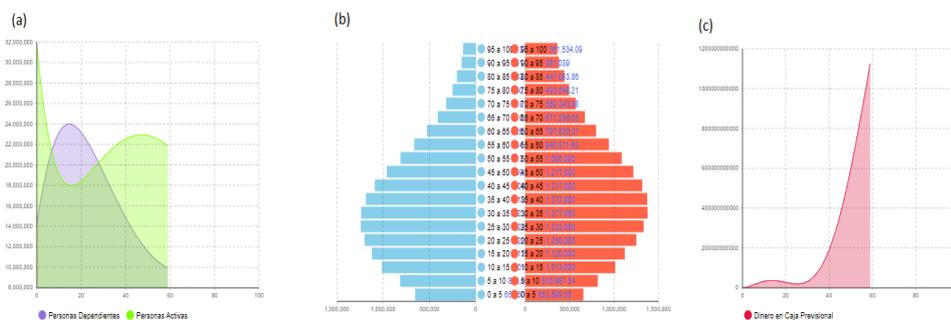
#### Estado intermedio.



**Figura 7.** Gráficas del año 30 de la simulación. (a) Relación entre personas activas y personas dependientes. (b) Pirámide poblacional. (c) Dinero en caja previsional en función del tiempo.

El año 30 de la simulación corresponde al año 2038 de la simulación. Como podemos ver en la Figura 7 (b), tenemos una pirámide con una natalidad decreciente pero una gran cantidad de niños, y jóvenes los cuales se deben a las altas natalidades de años pasados. Algunos jóvenes ya han ingresado en edad laboral y su aporte contribuye a mantener la caja en positiva y con una buena tasa creciente (Figura 7 (c)).

### Estado final.



**Figura 8.** Gráficas del año 60 de la simulación. (a) Relación entre personas activas y personas dependientes. (b) Pirámide poblacional. (c) Dinero en caja previsional en función del tiempo.

El presente estado corresponde a 2068, se puede observar una caja previsional con un gran fondo en positivo pero una peligrosa tendencia a la reducción de la natalidad (Figura 8 (b)). A su vez, si bien la tasa de dependencia es baja, su tendencia actual es de un constante crecimiento debido a un fuerte envejecimiento de la población y la baja natalidad (Figura 8 (a)). La caja previsional continúa aumentando en monto, pues la realidad indica que existe una gran cantidad de personas en edad laboral y pocas personas en edad jubilatoria (Figura 8 (c)).

## 5 Validaciones de la simulación

La importancia de tener confianza en el simulador radica en una certera construcción del mismo ya que sin eso no vale la pena analizar sus resultados.

Una simulación de Sistemas Dinámicos es, sin más, un conjunto de ecuaciones diferenciales que interactúan respetando una serie de reglas definidas en el sistema y a su vez esta interacción rige el comportamiento de un conjunto de variables que luego componen el output de la simulación. Una simulación de sistemas dinámicos es, entonces, un modelo matemático y como se puede pretender se puede demostrar la validez de este usando herramientas matemáticas.

En la práctica esto no es tan sencillo y debido a la magnitud del sistema y la complejidad de este actuaremos según lo establecido por Forrester, el creador de los sistemas dinámicos, que propone una serie de métodos para testear la validez de un modelo. *Por testeo nos referimos a la comparación de un modelo con la realidad empírica con el objetivo de corroborar o refutar un modelo* [12].

### 5.1 Prueba de verificación de parámetros

Esta prueba fue presentada por Forrester en 1979 para validación de sistemas dinámicos.

*Verificación de parámetros significa comparar parámetros del modelo con el conocimiento de los sistemas reales para determinar si los parámetros se corresponden conceptual y numéricamente con la vida real* [12].

Es decir que disponiendo datos de la realidad se puede contrastar con los resultados de la simulación y analizar si son coherentes o no.

Los parámetros que proponemos verificar son las tasas de natalidad y mortalidad de bebés y niños ya que estas tienen una gran influencia en el desarrollo del modelo poblacional.

		Tasas (cada 1000 personas)		
		Natalidad	Mortalidad Bebes	Mortalidad Infantil
Estados	Inicial (2018)	7.821	2.282	2.621
	Intermedio (2038)	4.327	0.95	1.286
	Final (2068)	1.73	0.234	0.412

**Tabla 1.** *Tabla de verificación de la simulación.*

En la Tabla 1 podemos ver los resultados de la simulación del punto 4. En las filas se presentan los distintos estados: inicial, intermedio y final. En las columnas se presentan las variables de interés: natalidad, mortalidad de bebés y mortalidad infantil. Puede verse que en general los índices disminuyen conforme se avanzan en términos de los estados. La natalidad disminuye desde 7.821 hasta un estado final de 1.73. La mortalidad de bebés disminuye desde 2.282 hasta 0.234 en el año 2068. Y la mortalidad infantil disminuye desde 2.621 hasta 0.412. En particular, los valores correspondientes al estado inicial son muy similares a los que arroja el Banco Mundial para España en 2017. [7]

Se condice de forma conceptual con la realidad ya que los avances en la medicina permitirán extender la vida de la población, y los cambios sociales a podrán posponer la paternidad disminuyendo los núcleos familiares, por lo que disminuye tasa de natalidad, como se ve reflejado en la tabla.

## 6 Conclusión

El presente simulador es una herramienta sencilla y dinámica que permite adaptarse a los diversos escenarios poblacionales y provee a su vez la posibilidad de añadir más precisión y exactitud si las condiciones lo requieren. Sus características se pueden aprovechar no solo en el ambiente científico sino también académico y para todo aquel que se sienta llamado a comprender los fenómenos sociales y sus efectos en la población.

Concluimos que el simulador resulta ser lógico con la realidad y los datos obtenidos mediante la simulación realizada se condice con los datos del Banco Mundial.

Debido a que consideramos la transición demográfica un tema crítico que en muchas ocasiones no es tenido en cuenta, pero es allí donde ocultos están los futuros problemas. Es entonces nuestra obligación para con la sociedad brindar una herramienta que permita anticiparse a esos males y actuar en consecuencia.

## Referencias

1. Thomas P. Lemke, Gerald T. Lins (2010). ERISA for Money Managers. Thomson Reuters. ISBN 9780314627056. Retrieved 11 October 2015.
2. Malthus, Thomas Robert. Ensayo sobre el principio de la población. Madrid, 1846.
3. Lotka, AJ (1989). Lotka sobre estudio de población, ecología y evolución. Revisión de población y desarrollo, 15 (3), 539-550.
4. Velastegui-Plata-Sendra (2010). Un modelo de simulación del crecimiento urbano y del crecimiento económico de las CCAA españolas.
5. Jay W. Forrester-(345-358, 2007). System dynamics, a personal view of the first years.
6. AnyLogic - <https://www.anylogic.com/features/> (Ultimo acceso registrado: 29/03/2020 12 a.m)
7. <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.DYN.CDRT.IN> (Ultimo acceso registrado: 29/03/2020 12 a.m)
8. Cabrera-Vázquez-Abascal (2007). La pirámide de población. Precisiones para su utilización.
9. <https://www.economista.es/economia/noticias/9169520/05/18/La-bomba-demografica-condenara-a-Espana-a-sufrir-una-inflacion-elevada.html> (Ultimo acceso registrado: 29/03/2020 12 a.m)
10. <https://www.ine.es/jaxi/Tabla.htm?path=/t20/e245/p04/a2008/10/&file=00000002.px&L=0> (Ultimo acceso registrado: 29/03/2020 12 a.m)
11. <https://www.libremercado.com/2019-04-13/cuanto-dinero-pagan-los-espanoles-a-la-seguridad-social-y-cuanta-pension-reciben-a-cambio-1276636061/> (Ultimo acceso registrado: 29/03/2020 12 a.m)
12. Forrester-Senge (8 de junio de 1979). Tests for building confidence in system dynamics models.