



Estudio dinámico sistémico acerca de los efectos en las estrategias de recuperación económica post Covid-19 en Colombia

Miguel Ángel Méndez Parra

Universidad Autónoma de Bucaramanga
Facultad de Ingeniería
Programa de Sistemas
Santander, Colombia
2021

Estudio dinámico sistémico acerca de los efectos en las estrategias de recuperación económica post Covid-19 en Colombia

Miguel Ángel Méndez Parra

Trabajo de grado presentado para optar el título de:
Ingeniero de Sistemas

Director:
Jorge Andrick Parra Valencia

Universidad Autónoma de Bucaramanga
Facultad de Ingeniería
Programa de Sistemas
Santander, Colombia
2021

Resumen

La actual crisis del Covid-19 no solo ha afectado el ámbito de la salud, sino que ha tenido serios efectos sobre la economía colombiana. Este trabajo describe un modelo diseñado para evaluar la efectividad de las estrategias propuestas por el gobierno colombiano para hacer frente a la crisis económica que trajo consigo la pandemia del Covid-19. Para el diseño del modelo se usó la herramienta Vensim PLE, este modelo permite simular el comportamiento de las empresas, dado la serie de cuarentenas que se hicieron obligatorias debido a la pandemia. Finalmente, mediante una serie de pruebas se evaluó la validez y calidad del modelo. Se determinó las causas estructurales que provocaron las respuestas del sistema, lo que permite diseñar propuestas de mejora en el sistema económico colombiano. Este modelo es una herramienta útil para la toma de decisiones, ya que permite visualizar el comportamiento productivo de las empresas desde varias perspectivas y consideraciones.

Palabras clave: Covid-19, Crisis económica, Estrategias, Comportamiento productivo, Dinámica de Sistemas.

Abstract

The current Covid-19 crisis has not only affected the health field, but has had serious effects on the Colombian economy. This work describes a model designed to evaluate the effectiveness of the strategies proposed by the Colombian government to deal with the economic crisis brought about by the Covid-19 pandemic. For the design of the model, the Vensim PLE tool was used, this model allows to simulate the behavior of companies, given the series of quarantines that were made mandatory due to the pandemic. Finally, through a series of tests, the validity and quality of the model was evaluated. The structural causes that provoked the responses of the system were determined, which would allow the design of improvement proposals in the Colombian economic system. This model is a useful tool for decision-making, since it allows to visualize the productive behavior of companies from various perspectives and considerations.

Keywords: Covid-19, Economic crisis, Strategies, Productive behavior, System Dynamics.

Contenido

	Pág.
Resumen	V
Lista de Figuras	VIII
Lista de Tablas	IX
Introducción	1
1. Marco teórico	5
1.1. Crisis económicas.....	5
1.1.1. La Gran Depresión	6
1.1.2. Final de la edad de oro.....	6
1.1.3. La gran moderación y la crisis financiera del 2008.....	8
1.2. Dinámica de sistemas.....	10
1.2.1. Elementos de los modelos de Dinámica de sistemas	10
1.2.2. Tipos de variables	11
1.2.3. Diagrama causal	13
1.2.4. Ciclos de realimentación	14
2. Estado del arte	15
2.1. Antecedentes.....	15
2.2. Análisis bibliométricos	19
2.2.1. VOSviewer	19
2.3. Antecedentes – Modelos dinámica de sistemas	22
2.3.1. J. Forrester’s World Model	22
2.3.2. Homer Model.....	24
3. Pregunta de Investigación y Objetivos	26
3.1. Pregunta de investigación	26
3.2. Objetivo general.....	26

3.3. Objetivos específicos.....	27
4. Metodología.....	28
4.1. Metodología de la Dinámica de Sistemas.....	28
4.1.1. Articulación del problema.....	29
4.1.2. Diseño del diagrama causal.....	29
4.1.3. Diseño del modelo.....	30
4.1.4. Formulación del modelo matemático.....	30
4.1.5. Validación del modelo.....	31
4.1.6. Formulación y evaluación de políticas.....	32
5. Resultados.....	33
5.1. Definición de las variables del modelo.....	33
5.2. Diseño del modelo.....	35
5.2.1. Hipótesis dinámica.....	35
5.2.2. Diagrama de flujos y niveles.....	38
5.3. Resultados de simulación.....	42
5.4. Validación del modelo.....	46
5.4.1. Pruebas de estructura.....	46
5.4.2. Pruebas de comportamiento.....	47
6. Cumplimiento de Objetivos, Trabajos Futuros y Conclusiones.....	48
6.1. Cumplimiento de Objetivos.....	48
6.2. Discusión sobre la Pregunta de investigación.....	49
6.3. Aportes.....	50
6.4. Trabajos Futuros.....	50
6.4.1. Oportunidades de Desarrollo Teórico.....	50
6.4.1. Oportunidades de Desarrollo Metodológico.....	51
6.5. Conclusiones.....	52
7. Bibliografía.....	53

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Árbol del problema frente a la efectividad de las estrategias de recuperación económica.....	3
Figura 2. Tipos de variables dentro de un modelo de dinámica de sistemas.....	11
Figura 3. Flechas, relaciones causales o relaciones de influencia.....	13
Figura 4. Relación de influencia positiva.....	13
Figura 5. Relación de influencia negativa.....	13
Figura 6. Ejemplo de ciclo de realimentación positiva.....	14
Figura 7. Ejemplo de ciclo de realimentación negativa.....	14
Figura 8. Mapa de coocurrencia de palabras en VOSviewer sin normalización	20
Figura 9. Mapa de coocurrencia de palabras clave de la revisión de literatura en VOSviewer.....	21
Figura 10. Mapa de coautoría en las redes bibliométricas en VOSviewer	22
Figura 11. Nivel sobre población y alimento del modelo mundial de J. Forrester .	23
Figura 12. Modelo sobre Covid-19 con preocupaciones económicas de Jack Homer	24
Figura 13. Proceso de modelado en Dinámica de Sistemas.....	29
Figura 14. Proceso metodológico implementado en el proyecto.....	32
Figura 15. Hipótesis dinámica sobre los impactos económicos tras la pandemia.	36
Figura 16. Estructura general del modelo sobre crisis económica colombiana.....	39
Figura 17. Comportamiento de las empresas frente a la pandemia.....	43
Figura 18. Simulación de escenarios sobre el funcionamiento de las empresas..	43
Figura 19. Comportamiento antes y después de las medidas adoptadas por el gobierno colombiano.....	44
Figura 20. Tasa de desempleo en función de los escenarios de simulación	45
Figura 21. Promedio de empleos e ingresos totales de las empresas en función de los escenarios de simulación	46
Figura 22. Representación del comportamiento de las empresas durante la pandemia	47

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Etapas que marcaron el pensamiento económico.....	5
Tabla 2. Elementos más importantes de un modelo en Dinámica de Sistemas. ...	11
Tabla 3. Revisión literaria a través de Science Direct	19
Tabla 4. Definición de las variables del modelo.....	35
Tabla 5. Sistema de ecuaciones bloque dinámica de las Empresas.....	40
Tabla 6. Sistema de ecuaciones del bloque de Puestos de Trabajo	41
Tabla 7. Sistema de ecuaciones del bloque de Desempleo.	42
Tabla 8. Revisión cumplimiento de los objetivos propuestos	49

Introducción

A principios de enero de 2020 se identificó un nuevo coronavirus en Wuhan (China), que es el causante de la enfermedad Covid-19. El 11 de marzo de 2020 la Organización Mundial de la Salud (OMS) declaró el Coronavirus como pandemia. Además de su elevada morbilidad y mortalidad, las repercusiones económicas están siendo enormemente graves. A medida que se comenzó a propagar el virus, desde su origen hacia diferentes países y continentes, se comenzó a evidenciar la tasa de contagio, la mortalidad, los factores de comorbilidad, y a entender el riesgo que representaba para la salud, y para la capacidad de las economías para hacer frente a la emergencia. Gobiernos alrededor del mundo respondieron con medidas de contención de la pandemia, y mitigación de los impactos socioeconómicos. Empresas y personas también comenzaron a cambiar sus hábitos de consumo y de producción (CONPES 3999, 2020).

Colombia no es una de las economías más internacionalizadas de la región. Es más: ha venido creciendo gracias al potente consumo interno y a que las remesas juegan un papel importante para alentarlo. Según la Asociación Bancaria de Colombia, esta última fuente alcanzó en 2019 los 7.000 millones de dólares (el 2,1% del PIB), un récord histórico debido a la buena situación entonces del empleo en Estados Unidos. Este monto, equivale al 17% de las exportaciones y supera las ventas al exterior de oro, café, flores, banano, aceite de palma, azúcar y productos químicos (Portafolio.co, 2020).

Así, aun suponiendo que Colombia no experimente el peor escenario epidemiológico, su estructura económica puede hacer que sufra el impacto de la crisis internacional, al menos en el corto y mediano plazo. En la segunda quincena de abril, las caídas se estiman en -2%, según el Banco Mundial; -2,4%, según el Fondo Monetario Internacional (FMI, 2020); y -2,6%, según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2020). En los escenarios más pesimistas se estima que la economía podría caer hasta el -7,9%, según Fedesarrollo (2020).

Adicionalmente, los distintos escenarios del impacto de la crisis asumen que el desempleo podría aumentar entre un 15% y un 20,5% (Fedesarrollo, 2020). Esto significa que podría haber dos millones y medio de nuevos parados. Las remesas, por su parte, podrían caer entre un 30% y un 45% por efecto del aumento del paro en Estados Unidos y España.

Es así como frente a la actual pandemia a causa del Covid-19, se hacen cada vez más evidentes las peticiones que le suponen al gobierno encontrar estrategias, más allá de las cuarentenas, que les permitan detener el virus sin poner en riesgo la economía nacional. Esto supone que antes de reabrir la economía nacional, el gobierno colombiano deberá ralentizar la propagación del virus y contar con sistemas de salud pública suficientemente fuertes para detectar y responder a los casos de contagio existentes. Teniendo esto en mente, el gobierno deberá en el primer escenario suprimir el virus lo más rápido posible y apoyar a las personas y empresas afectadas por los bloqueos (Véase Figura 1).

Es así como el propósito de este trabajo de investigación es diseñar un modelo de simulación genérico para analizar los efectos de las estrategias adoptadas por el gobierno colombiano para hacer frente a la actual crisis económica generada por el Covid-19, por medio de modelación y simulación computacional, convirtiéndose en un insumo para mejorar los procesos de toma de decisiones por parte del gobierno nacional frente a la situación actual de las empresas.

El orden de este trabajo de investigación se explica a continuación: en el capítulo uno se presenta de manera resumida los conceptos o constructos necesarios para abordar el problema de investigación, mostrando antecedentes sobre las crisis económicas y como fue moldeado el pensamiento económico actual. Seguidamente, en el capítulo dos se realiza una descripción del problema de estudio, mostrando los antecedentes identificados y el estado del arte. Luego, en el capítulo tres, se plantea la pregunta de investigación que alimenta el proyecto y los objetivos que se pretenden alcanzar en el presente trabajo.

Posteriormente en el capítulo cuatro, se establece la metodología empleada en el desarrollo de la investigación, detallando dicho proceso metodológico. A continuación, en el capítulo cinco se evidencian los resultados de simulación del modelo diseñado y las estrategias planteadas con sus respectivos análisis. Más adelante, en el capítulo seis se muestran las discusiones, las conclusiones y las recomendaciones y trabajo futuro de la investigación.

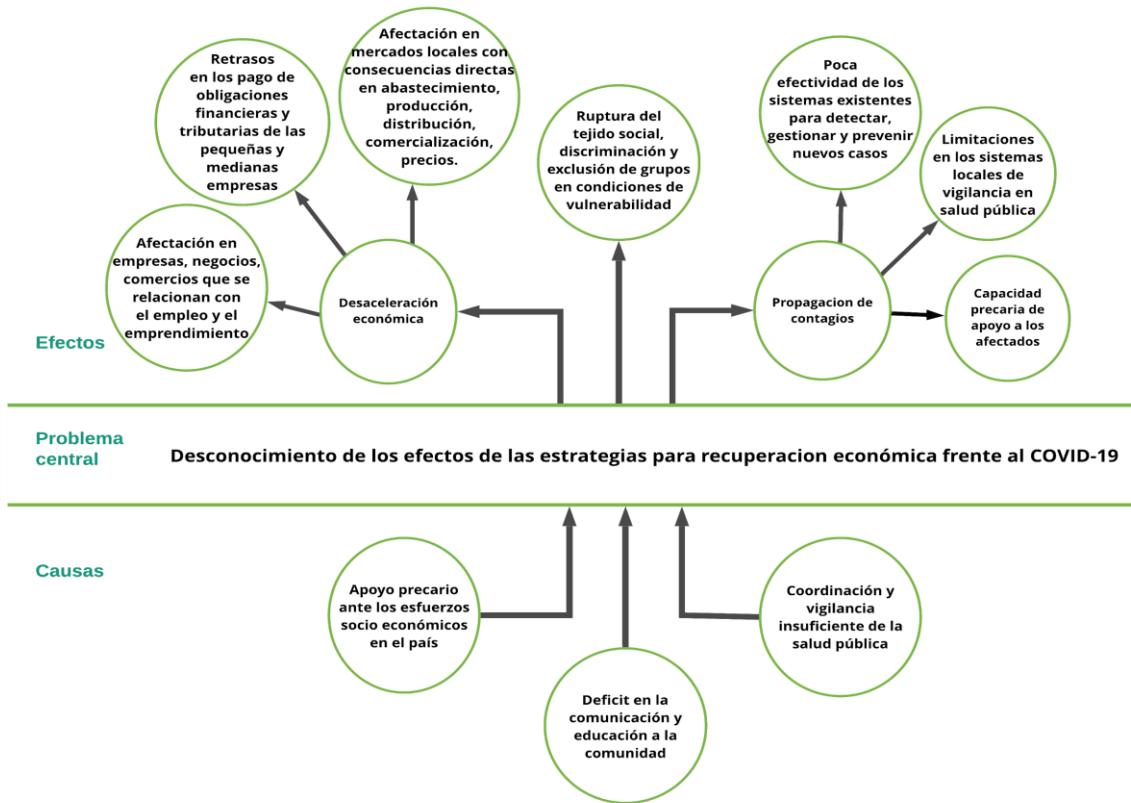


Figura 1. Árbol del problema frente a la efectividad de las estrategias de recuperación económica

1. Marco teórico

Este capítulo ofrece los antecedentes sobre las crisis económicas. Inicialmente se presentan las crisis económicas como área de conocimiento. Así mismo, se presentan los tres grandes eventos que marcaron el fin de las etapas del pensamiento económico y como estas dieron forma a la economía que conocemos actualmente. Además, se presenta una descripción de la dinámica de sistemas y los elementos que la componen.

1.1. Crisis económicas

Las crisis económicas, fuerzan a repasar el porvenir de los acontecimientos, pues debilitan las fuerzas y los argumentos que sostienen el momento actual, y propician transformaciones en las normas políticas y económicas (Alesina, Ardagna & Trebbi, 2006). Algunos suscitan que los paradigmas subsisten más tiempo del debido, obligando a que la sociedad invierta recursos y tiempo para ajustar lo irremediable con arreglos marginales (Stigler, 1982a; Quiggin, 2010). Por la especificidad de la economía y de las ciencias sociales, ningún paradigma domina plenamente ni temporalmente en ellas como en las ciencias naturales (Kuhn, 1962). Así, en la economía moderna, tres grandes eventos marcaron el fin de las etapas del pensamiento económico y revelaron la mutabilidad de los paradigmas (Ver Tabla 1).

	Eventos que marcaron el fin de las etapas del pensamiento económico		
	Gran Depresión de los años treinta	El estancamiento económico a mediados de los años setenta	El choque de los mercados de valores de 2008
Consecuencias	Dio fin a una etapa de crecimiento acelerado del producto, el comercio mundial y avances tecnológicos.	Que originó la crisis de la deuda y acabó con la edad de oro del capitalismo	A raíz de la Gran Recesión, encaminada por la Gran Moderación, y el periodo de baja inflación y crecimiento sostenido a inicios de los ochenta y mediados de 2007

Tabla 1. Etapas que marcaron el pensamiento económico

1.1.1. La Gran Depresión

La Gran Depresión acabó con la premisa de que el mercado tenía la capacidad de realizar los ajustes necesarios para superar los ciclos. El desplome del mercado de valores en 1929, las caídas de la demanda y las ganancias, y el estancamiento económico evidenciaron que se debía intervenir para tratar las fallas del mercado y sostener la economía. Al develar las limitaciones de los mecanismos del mercado, la crisis de 1929 exhibió la insuficiencia de los instrumentos monetarios para reavivar la economía. Ante esta convicción, ganaron fuerza, la demanda efectiva, como catalizador del crecimiento y las políticas para estimularla y sostenerla en épocas de crisis.

Según Keynes las crisis no son episodios casuales, por lo que el buen funcionamiento del capitalismo requiere de una agencia, un papel que le corresponde al Estado que, cuando las circunstancias lo exigen, invierte para mantener el empleo y sostener la demanda.

Ante el rechazo de Keynes al método ergódico de la teoría económica clásica cuando plantea que los axiomas ergódicos y sus resultados son aplicables sólo a casos específicos, y utilizarlos universalmente en situaciones distintas generarían resultados adversos (Davidson, 2012: p. 3). Surgieron economistas que, aplicando la parábola de los vidrios rotos, vieron en la crisis una gran oportunidad, resaltando los efectos constructivos de la destrucción y separaron los costos económicos y sociales para recalcar que toda acción no cíclica causaría mayor daño que la crisis.

1.1.2. Final de la edad de oro

Keynes controló el entendimiento económico y la acción política desde el fin de la guerra hasta mediados de los años setenta. Durante esta etapa, la edad de oro del capitalismo (Scott, 1991), todos los países se acrecentaron a tasas elevadas, con baja inflación y desempleo. En el tiempo, la acelerada expansión presionó las fuentes de recursos naturales, indujo inflación y estableció su aplanamiento en la panorámica intelectual y político, con el Club de Roma y la OPEP.

La edad de oro del capitalismo y su conclusión han de considerar el entorno político de la Gran Depresión, la segunda posguerra, el desafío de la Unión Soviética y el afianzamiento de los Estados Unidos, que demostraron el estímulo a la demanda interna por la vía del empleo, los salarios y los ingresos, contenidos en un Estado

de bienestar. El modelo se debilitó ante la incapacidad de contener, simultáneamente, altas inversiones, pleno empleo, elevado gasto público, ganancias crecientes y control de la inflación, con demandas salariales elevadas y estancamiento de la productividad. Aportó además el desgaste de la cooperación internacional y la salida de los Estados Unidos, en 1971, de la libre convertibilidad del dólar, por la crisis de liquidez de su economía. Las tasas de cambio flexible reemplazaron las fijas, dispararon la inflación, fortalecieron las expectativas racionales, la neutralidad del dinero y el rechazo del uso de políticas fiscales para manejar la producción, el empleo y el ingreso. Este avance del monetarismo resultó de la incapacidad de la economía keynesiana de explicar la “estanflación” de inicios de los años setenta que desacreditó las políticas no cíclicas y, al atribuir la crisis y la inflación al estímulo de la demanda vía gasto público, deslegitimó las políticas activas de empleo (Lucas & Sargent, 1979) y retomó elementos de la teoría económica clásica, centrados en la estabilidad de precios y del producto. A la síntesis neoclásica, los neokeynesianos sumaron su búsqueda de fundamentos microeconómicos para el análisis macroeconómico, pero dejaron sin resolver los problemas de agregación y de identificación (Marchionatti & Sella, 2015).

Cobraron entonces fuerza los modelos dinámicos de equilibrio general y sus supuestos de ergodicidad, racionalidad individual y eficiencia de los mercados; fueron incorporados plenamente en modelos econométricos con el individuo representativo como actor principal. Por los supuestos de racionalidad perfecta e información completa, la política económica se tildó de ineficaz para disminuir el desempleo ya que los individuos conocen el mercado, anticipan que el aumento del gasto público produce inflación, ajustan precios y salarios, e impiden el aumento del desempleo y la corrección salarial, incluso de corto plazo (Kaletsky, 2009). En estos modelos no cabe el desempleo y la única forma de incluirlo fue considerándolo decisión voluntaria de individuos racionales e informados, como en Lucas & Sargent (1979). A la inflación de los años setenta y a la crisis de la deuda al despuntar los ochenta, siguieron los ajustes fiscales, la liberalización económica y las reformas estructurales, que no fueron suficientemente estructurales, pues eliminaron las restricciones al mercado provenientes de las acciones del Estado y mantuvieron intacta la supresión de los intercambios del sector privado que estaban ligados a la concentración de los capitales productivo, financiero, comercial y del conocimiento (Lipton, 1992).

1.1.3. La gran moderación y la crisis financiera del 2008

La liberalización de la economía y el retiro del Estado del manejo económico, en respuesta a la crisis de la deuda y la inflación, marcó las rutas de la teoría y la política económicas y los fundamentos de la organización social. Entroniza en la teoría y la política macroeconómicas los axiomas ergódicos neoclásicos y encumbró al mercado y al individualismo a rectores de la acción social. La práctica económica y la política se centraron en la ideología liberal: “La sociedad no existe, hay individuos, hombres y mujeres y familias”, resumía Margaret Thatcher (1987: p. 1.).

Lejos de ser un proyecto estrictamente técnico que afecta solo la economía y buscará exclusivamente la eficiencia del gasto público, las reformas trastocaron la estructura del poder político y la distribución del excedente económico, transformando las relaciones entre el Estado y la sociedad y entre el capital y el trabajo. Al redefinir las fronteras del Estado erigió la rentabilidad del capital como el eje de la economía y la eficiencia, la rentabilidad y la competitividad de las normas de las políticas públicas, relegando la equidad a plano secundario. Esta lógica consagró la separación entre ciencia económica positiva y normativa, ignorando que eficiencia y equidad forman una unidad y “[...] como tal deben ser tema de la economía política y objeto de discusión de las democracias y no, como hoy, centrar el debate en sí con democracia el mercado asegura o no la eficiencia paretiana” (Stiglitz, 1991: p. 43.). Se consolidó de este modo la distinción entre las políticas económicas y las políticas sociales y la equidad se aisló de las primeras. Con esta óptica, hubo mayor tolerancia a los niveles de pobreza, desigualdad, exclusión y desempleo, concebidos antes como moralmente inaceptables.

Aislar la política social de la económica lleva a la falsa pregunta de si hay objetivos sociales y objetivos económicos independientes y contradictorios, y al definir el crecimiento como el objetivo final de toda política económica se subsume a este todas las demás (Lynn, 2003: p. 129). De instrumento de desarrollo, el crecimiento deviene, en fin: “Concebimos el desarrollo social como el complemento natural del desarrollo económico, por su valor intrínseco e instrumental” (BM, 2005: p. 2.). La política social, reducida a complemento de la económica, ni busca ni puede afectar su naturaleza. Los programas de pobreza se limitan a aliviar los efectos más severos de la pobreza extrema, pues pueden conducir al “desencanto” con la democracia o con la globalización y generar conflictos sociales de resultados imprevisibles.

Con el modelo neoliberal entró La Gran Moderación, nombre acuñado por Stock (2002), legitimado por Ben Bernanke y que hace referencia a la estabilidad de precios y del producto. Se ha blandido como confirmación empírica del éxito del liberalismo y del poder del mercado para definir la óptima ubicación de factores. Esta enunciación ignora las crisis de Estados Unidos de los ochenta, las mexicanas (1986, 1994, 2009) y las del Sudeste Asiático, Turquía, Colombia y Argentina en los noventa. El éxito de la moderación reside en la selección de casos no en sus méritos.

Bernanke (2004) consideró como causa principal de la Gran Moderación la restricción monetaria y la independencia de los bancos centrales y desechó los motivos de carácter político y estructural: dinero fácil, mercados desregulados, monedas revalorizadas, importaciones baratas, menores choques externos. La Gran Moderación dio paso a que se declarara resuelto el manejo de los ciclos económicos y redujera el papel de la macroeconomía al definir los estímulos para inducir a los individuos a trabajar y ahorrar: bajos impuestos y gasto público moderado, convencido de que los beneficios en bienestar de las mejores políticas fiscales de oferta de largo plazo superan en mucho los beneficios potenciales del manejo de corto plazo de la demanda, por óptimo que sea (Lucas, 2003).

Mercados eficientes y precios correctos fueron los paradigmas teóricos que avalaron la desregularización de los mercados financieros y de bienes, y orientaron las privatizaciones y las fusiones de empresas. Todo marchaba bien hasta que el estallido de la burbuja inmobiliaria en 2007-2008, que enterró la Gran Moderación. Minsky (2008) había advertido que largos periodos de estabilidad inducen a tomar mayores riesgos y a tasas de rentabilidad superiores, los cuales devienen en sistemas Ponzi (como Madoff). Las ideas de Minsky contradecían las afirmaciones de Greenspan: “Las tecnologías de la información han expandido tanto los mercados que los gobiernos, aun los incrédulos, no tienen otra alternativa que desregular [...] Sin duda, hoy los mercados financieros mundiales son más eficientes que nunca” (Greenspan, 1998: p. 1). La crisis fue prevista y era evitable, solo la indiferencia o la ligereza lo impidieron, concluyó la Comisión para Investigar la Crisis Financiera (FCIC, siglas en inglés) del Congreso de los Estados Unidos (FCIC, 2011).

La crisis iniciada al finalizar 2007 fue larga para los estándares de la segunda posguerra y la recuperación lenta y evasiva, a la luz de la turbulencia de los mercados de capitales por el colapso en China a inicios de enero 2016. En comparecencia ante el Congreso estadounidense para explicar la crisis financiera,

Greenspan declaró en 2008 que habían colapsado las bases intelectuales (las hipótesis de los mercados eficientes y la de los precios correctos) sobre las cuales se habían edificado las políticas macroeconómicas de la Gran Moderación, pues los modelos no valoraron el riesgo (Wall Street Journal, 2008). En el mismo foro, Stiglitz (2009) señaló las causas y actores responsables de la crisis: los bancos, los fondos financieros, las agencias controladoras y los gobiernos, al incumplir su deber de proteger a los ciudadanos.

1.2. Dinámica de sistemas

La Dinámica de Sistemas ha sido considerada como tecnología intelectual (*Aracil, 1986*), como herramienta (*Wolstenholme, 2003*) y como un lenguaje de representación (*Andrade et al. 2001*). No obstante, la diversidad de posiciones sobre su ser, la Dinámica de Sistemas ha sido presentada por la Sociedad Internacional de Dinámica de Sistemas como un enfoque para el análisis de políticas y el diseño asistido por computador que aplica a problemas dinámicos en sistemas sociales, administrativos, económicos, ecológicos complejos caracterizados por su interdependencia, la interacción mutua, la retroalimentación de información y la causalidad circular (*System Dynamics Society, 2010*). Para entender y administrar este tipo de sistemas se requiere estudiar los ciclos de realimentación y como ellos determinan la variación del sistema a través del tiempo (*Sterman, 2000; Forrester, 1961*).

1.2.1. Elementos de los modelos de Dinámica de sistemas

Los modelos en Dinámica de Sistemas combinan niveles y decisiones articulados para explicar un sistema (*Forrester, 1992*). Normalmente, los modelos en Dinámica de Sistemas buscan responder a una pregunta o propósito específico (*Forrester, 1971; Forrester & Collins, 1969*). En los modelos en Dinámica de Sistemas, los flujos se definen como funciones de decisión que afectan las variables de estado (*Sterman, 2000*). Los elementos más importantes de un modelo en Dinámica de Sistemas se definen en la Tabla 2.

Elementos	Definición
Niveles	Son aquellas variables que acumulan los cambios del sistema. También se conocen como las variables memoria, pues en ellas se acumulan los cambios sufridos por el modelo.
Flujos	Estos elementos definen el cambio en el sistema, por lo que determinan la variación de los niveles.
Funciones de decisión	Son aquellas que definen las decisiones en función de la información disponible. Una función de decisión relaciona uno o varios niveles con la respuesta que tendría el flujo o los flujos a la información disponible.

Tabla 2. Elementos más importantes de un modelo en Dinámica de Sistemas.

La información disponible para la toma de decisiones proviene de los niveles (Forrester, 1992). Se supone que los flujos, gobernados por las funciones de decisión procesan información disponible en el sistema (Sweeney & Sterman, 2000). Conseguir y apreciar información de los niveles del sistema siempre implica una demora (Sterman, 2000). La red de información es la más importante de las redes en un modelo. Su representación implica incluir todos los procesos necesarios para obtener la información (Sterman, 2000). Las funciones de decisión se alimentan de información procesada que producen los niveles del sistema (Forrester, 1961).

1.2.2. Tipos de variables

Existen diversos tipos de variables según el papel que jueguen dentro del sistema y la clase de información que proporcionen, como se muestran en la Figura 2.

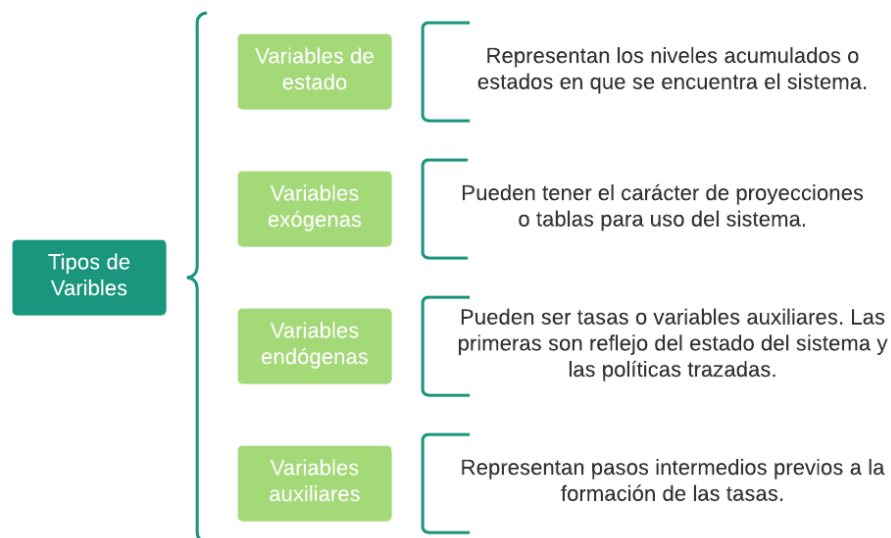


Figura 2. Tipos de variables dentro de un modelo de dinámica de sistemas

El proceso de modelamiento implica determinar los factores que son de importancia y que influyen la toma de la decisión en la situación problemática modelada (Morecroft, 1983). Se acostumbra a representar los efectos tanto de corto plazo como de largo plazo. El comportamiento dinámico en sistemas de realimentación de información está determinado por la manera en la que un cambio en una variable causa cambios en otra (Forrester, 1961).

Las políticas y reglas en Dinámica de Sistemas asumen que las decisiones convierten información (Forrester, 1961). De esta forma se especifican acciones para cierta información de entrada. Una sucesión de decisiones guarda relación con las fuentes de información a través de flujos. La política o la regla es una definición formal que relaciona fuentes de información con los flujos de decisión resultantes (Forrester, 1961). Por consiguiente, en Dinámica de Sistemas se determinan las reglas de decisión que relaciona la información disponible con el flujo de acciones que controlan los flujos y que producen la variación de los niveles. De esta forma las reglas representan la forma en que los grupos responden a determinadas condiciones y presiones. Dinámica de Sistemas determina la respuesta del sistema a un cambio en la información mediante el cambio en el flujo de acciones. Este proceso se conoce como detección de la regla orientadora (Sterman, 1987; Forrester, 1961).

En situaciones dinámicamente complejas, los tomadores de decisiones utilizan una porción de información reducida de toda la información que tienen disponible. Algunos individuos usan la información para crear los objetivos deseados. Otras informaciones son utilizadas para formar impresiones sobre el real estado del sistema. A pesar que no se puede saber para cada individuo su respuesta a cambios en el medio ambiente, si es posible saber, con un alto grado de confianza, la respuesta promedio de un grupo de individuos a cambios en las condiciones específicas (Sterman, 1989, 1987).

Un modelo puede representar la dinámica adecuada de un sistema mediante expresiones que indican cómo se realizan las decisiones, que se representan a su vez mediante un flujo de información. Dichos flujos convierten continuamente información en decisiones y acciones (Morecroft, 1983). De esta forma se describen los criterios utilizados en la toma de decisiones. Se consideran los factores que influyen en la decisión y se establece la dirección de su efecto y su magnitud. Luego se construye una lista de los factores que serían importantes para tomar la decisión (Morecroft, 1985).

1.2.3. Diagrama causal

Un Diagrama Causal es una herramienta para mostrar la estructura y las relaciones causales de un sistema para entender sus mecanismos de realimentación en una escala temporal. Los elementos básicos son las variables o factores y los enlaces o flechas. Uno de los puntos fuertes de los Diagramas Causales es su capacidad de incorporar variables cualitativas.

Las flechas o enlaces que expresan una relación de causalidad o de influencia entre dos variables, de forma que una variación en el origen de la flecha produce un cambio en la variable destino (Figura 3).



Figura 3. Flechas, relaciones causales o relaciones de influencia.

Existen dos tipos de influencias: positiva y negativa. El carácter de la relación se expresa asociando un signo a la flecha. En la Figura 4 se representa una relación de influencia positiva. Ello significa que ambas variables cambian en el mismo sentido: si la variable A aumenta (o disminuye), la variable B también aumenta (o disminuye).



Figura 4. Relación de influencia positiva.

En la Figura 5 se representa una relación de influencia negativa. El signo negativo indica que las variables de los dos extremos de la flecha varían en sentido opuesto: si la variable A aumenta (o disminuye), entonces la variable B disminuye (o aumenta).



Figura 5. Relación de influencia negativa.

Los diagramas causales con una herramienta útil, ya que en primer lugar permiten identificar rápidamente las hipótesis sobre las causas de las dinámicas. Además, captan el modelo mental de los elementos y, por último, permiten comunicar las retroalimentaciones importantes que el modelador considera son las responsables del problema.

1.2.4. Ciclos de realimentación

Los ciclos de realimentación representan el proceso dinámico que se traslada por una cadena de causas y efectos a través de un conjunto de variables que acaban volviendo a la causa original. Propiamente, un ciclo de realimentación es el grupo de variables interconectadas por relaciones causales o de influencia positiva o negativa, que forman un camino cerrado que comienza en una variable inicial y que acabe en la misma variable.

Existen dos tipos básicos de ciclos de realimentación, los ciclos de realimentación positiva, o de refuerzo, y los ciclos de realimentación negativa, o estabilizadores.

- **Ciclo de realimentación positiva.** Los ciclos de realimentación positiva, también llamados de refuerzo o, más descriptivamente, de efecto de bola de nieve, son aquellos en los que la variación de un elemento se propaga a lo largo del ciclo de manera que acentúa dicha variación inicial. Esa variación primera puede ser tanto un incremento como una disminución de un valor determinado.

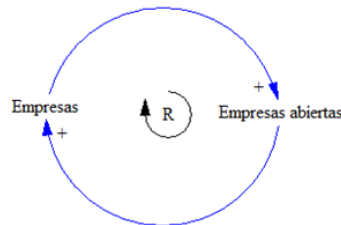


Figura 6. Ejemplo de ciclo de realimentación positiva

- **Ciclos de realimentación negativa.** A los ciclos de realimentación negativa se les conoce con diversas denominaciones (estabilizadores, equilibradores, balanceadores, reguladores o autorreguladores, homeostáticos, ...) y son la base de cualquier sistema de control o regulación, tanto natural como artificial. Son aquellos en los que una variación de un elemento se transmite a lo largo del ciclo de manera que se genere un efecto que contrarresta la variación inicial.

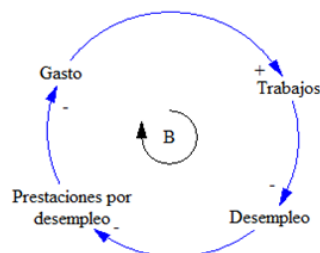


Figura 7. Ejemplo de ciclo de realimentación negativa.

2. Estado del arte

Una vez aclarados los conceptos y estudiado las etapas por las que paso el pensamiento económico, en su formación, este capítulo ilustra como diferentes autores abordan los problemas que traen consigo las crisis económicas. Muestra como algunos autores buscan comprender las interacciones entre múltiples sistemas independientes elaborando predicciones preliminares y recomendaciones de políticas que pueden ayudar a aumentar las tasas de recuperación y prevención frente a crisis similares a la crisis económica de 2008, empleando metodologías como la dinámica de sistema, Procesos de Red Analítica (ANP) y teorías como la del intercambio social (SET).

2.1. Antecedentes

Se procede a buscar en diversas bases de datos con el fin de encontrar trabajos que estuvieran relacionados con la investigación planteada y que funcionaran de fundamento para la misma. Para la revisión de literatura se utilizó Google Académico y Science Direct como bases de datos, ya que son unas de las fuentes de información de referenciación con mayor cobertura de impacto, asimismo, estas bases datos poseen un número mayor de revistas indexadas.

Como primera medida fueron seleccionadas las palabras clave relacionadas con el concepto principal del estudio. Lo cual dio como resultado la siguiente ecuación de búsqueda:

“SYSTEMS DYNAMICS IN CRISIS AND ECONOMIC RECOVERY”

Se realizó la búsqueda a través de las bases de datos Google Académico y Science Direct el día 15 de agosto de 2020. Los sistemas recuperaron 915.000 y 9.577 documentos respectivamente. Por medio de la Tabla 1, se describen los cinco estudios más relevantes encontrados para entender cómo se abordó la implementación del trabajo desde diferentes perspectivas teóricas.

	Título, año, Autor	Problema Abordado	Método Aplicado	Resultados
1	<p>Título: Modelling the 2008 financial economic crisis: triggers, perspectives and implications from systems dynamics Año: 2015 Autores: Behnido Y. Calida; Polinpapilinho F. Katina URL: https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJSSE.2015.075487</p>	<p>El propósito del estudio fue comprender las interacciones entre múltiples sistemas independientes y también elaborar predicciones preliminares y recomendaciones de políticas que pueden ayudar a aumentar la tasa de recuperación y prevenir crisis similares a la crisis económica de 2008.</p>	<p>El análisis se basó en algunos modelos detallados de los componentes bancario, inmobiliario y bursátil del sistema financiero. El modelo utiliza un horizonte temporal 2000-2020. Se realizó una simulación de dinámica de sistemas para validar la fecha de recuperación del mercado utilizando las tasas de ahorro promedio de los Estados Unidos de los últimos 30 años.</p>	<p>Los resultados del modelo muestran que es consistente con la idea de que cuando hay una oferta monetaria ilimitada y no hay restricciones en los niveles de endeudamiento, los precios de la vivienda aumentan linealmente. Al activar un indicador de riesgo basado en un nivel de endeudamiento, la oferta monetaria se congela y, por lo tanto, se producen efectos en cascada sobre la oferta/demanda de vivienda y, finalmente, los precios de la vivienda.</p>
2	<p>Título: Predicting a recovery date from the economic crisis of 2008 Año: 2010 Autores: Iwan J. Azis URL: https://www.sciencedirect.com/aure.unab.edu.co/science/article/pii/S0038012110000121</p>	<p>El estudio busca predecir la recuperación de la crisis financiera del 2008, y comprender cómo un pequeño segmento de un mercado financiero, podría paralizar la economía. Además de analizar y captar las percepciones de los actores del mercado (consumidores e inversores) que juegan un papel importante en el proceso de recuperación a través de su impulso</p>	<p>Se utiliza el Proceso de Red Analítica (ANP) que captura los factores de percepción sobre las variables estratégicas que causan la crisis y la recuperación prevista. En la estructura de la ANP modelaron los factores macroeconómicos y de política clave, y sus interacciones, y posteriormente priorizaron sus efectos sobre el tiempo de recuperación.</p>	<p>Con base en el análisis utilizando la estructura ANP, el tiempo estimado de recuperación real es de finales de julio a principios de agosto de 2010. Una de las principales razones es la estrategia de salida estimada que puede frenar, o incluso revertir, la tendencia de recuperación producida por las políticas de estímulo sin precedentes. También se puede argumentar que algunas de las condiciones que hicieron posible la crisis</p>

		espontáneo de gastar e invertir.		permanecen sin cambios incluso después de que se hayan tomado varias medidas.
3	<p>Título: The Coronavirus crisis in B2B settings: Crisis uniqueness and managerial implications based on social exchange theory</p> <p>Año: 2020</p> <p>Autores: Roberto Mora Corteza, Wesley J. Johnston</p> <p>URL: https://www-sciencedirect-com.aure.unab.edu.co/science/article/pii/S0019850120303394</p>	<p>Este estudio investiga las principales diferencias entre las crisis financieras "tradicionales" anteriores y las prácticas que los gerentes pueden adoptar para navegar y sobrevivir a la crisis del Coronavirus desde una perspectiva de la teoría del intercambio social (SET).</p>	<p>Adoptaron la teoría del intercambio social (SET) como lente conceptual que permite una comprensión más completa que la teoría económica, especialmente cuando se investigan las actitudes y comportamientos humanos durante períodos de crisis. Realizaron entrevistas en profundidad con 31 profesionales de todos los niveles, industrias y funciones. Debido a la naturaleza mundial de la pandemia de coronavirus, seleccionaron tres regiones distintas del mundo para representar un entorno internacional: (1) EE. UU., (2), Europa y (3) América Latina.</p>	<p>Este estudio proporciona nuevos conocimientos prácticos sobre la diferenciación de la crisis actual del coronavirus en comparación con las crisis financieras anteriores. Además, este estudio ofrece una perspectiva rica y matizada para las empresas B2B sobre la gestión de la crisis del coronavirus. El modelo aplicado sugerido se compone de cuatro áreas críticas entrelazadas: (1) transformación digital, (2) procesos de toma de decisiones, (3) liderazgo y (4) emociones y estrés. Contribuimos específicamente a la práctica de marketing B2B al proponer 22 recomendaciones que combinan los principios gerenciales de TIU y SET.</p>
4	<p>Título: Consumption dynamics during recession and recovery: A learning journey</p> <p>Año: 2019</p> <p>Autores: María Sarmiento,</p>	<p>Este artículo se basa en el examen de las actitudes de los consumidores en períodos de recesión y post-recesión, proporcionando nuevos conocimientos sobre</p>	<p>El estudio utilizó un enfoque cualitativo longitudinal que comprende veintidós entrevistas semiestructuradas con once consumidores portugueses. La investigación se realizó</p>	<p>Los resultados muestran que, durante las recesiones, los consumidores buscan la sensatez económica, adoptando y asumiendo nuevos comportamientos que les permitan acomodar</p>

	<p>Susana Marques, Mercedes Galán. URL: https://www-sciencedirect-com.aure.unab.edu.co/science/article/pii/S0969698917307038</p>	<p>la toma de decisiones del consumidor, nuevas lógicas de comportamiento de gasto y ahorro y también abriendo nuevos caminos para la investigación sobre la psicología de la elección en contextos de recesión y la etapa inmediata de recuperación.</p>	<p>en dos momentos en el tiempo: 2014 y 2018, correspondientes a períodos de recesión y recuperación portuguesa.</p>	<p>la reducción de ingresos, lo que también se traduce en una mayor responsabilidad social. Además de cambiar a opciones más económicas, es decir, buscar marcas privadas y promociones de marcas nacionales, los consumidores revelaron nuevas estrategias y nuevos hábitos, como más organización y comportamiento planificado, ir de compras con mayor frecuencia, reducir el comportamiento de la población y evitar la emaciación.</p>
5	<p>Título: Worldwide economic recoveries from financial crises through the decades Año: 2020 Autores: Sylvain Barthélémy, Marie-Estelle Binet, Jean-Sébastien Pentecôte URL: https://www-sciencedirect-com/science/article/pii/S0261560620301601</p>	<p>El propósito de nuestro estudio es doble. En primer lugar, mostrar que la clasificación VUL habitual es demasiado restrictiva para captar todas las formas en que la producción nacional se recuperó o no ante un shock financiero. En segundo lugar, analizar los factores que pueden explicar la heterogeneidad observada. En particular, la forma de la recuperación depende del estado de la economía antes y después de la crisis financiera.</p>	<p>Para esto, estudiaron una muestra de 104 países en desarrollo y avanzados con datos macroeconómicos anuales que abarcan cuarenta años, es decir, de 1973 a 2017. Realizaron análisis de datos utilizando una red neuronal dedicada a la proyección no lineal de conjuntos de datos complejos, a saber, un mapa autoorganizado o SOM. Finalmente estimaron un modelo lógico multinomial para buscar los determinantes de las formas identificadas de recuperación.</p>	<p>Este estudio sugiere que los resultados requieren una investigación más profunda en dos direcciones. Primero, la dinámica de la brecha del producto puede ser solo una parte de todo el proceso económico. Como lo sugieren estudios anteriores, sería interesante centrarse en características adicionales del proceso de recuperación. Las crisis financieras de los últimos años han suscitado preocupaciones sobre las recuperaciones sin empleo y sin crédito. Debido a que su implicación política aún</p>

				<p>se debate requeriría una mayor investigación. En segundo lugar, sería útil un análisis en profundidad de las recuperaciones de las crisis de la deuda soberana europea, aunque requeriría datos posteriores a 2017 sobre una gama más amplia de posibles factores desencadenantes de la forma de recuperación.</p>
--	--	--	--	---

Tabla 3. Revisión literaria a través de Science Direct

2.2. Análisis bibliométricos

De acuerdo con los resultados de la ecuación de búsqueda en la base de datos *Science Direct*, se plantea la realización de análisis bibliométricos que muestren la relevancia de los temas de investigación, identificando actores clave al momento de la selección de las variables.

2.2.1. VOSviewer

Con el fin de construir y visualizar redes bibliométricas presentes en la revisión literaria, se hace uso de la herramienta de software VOSviewer. Así estas redes pueden incluir, por ejemplo, revistas, investigadores o publicaciones individuales, y pueden construirse sobre la base de la citación, el acoplamiento bibliográfico, coocurrencia de palabras, la cocitación o las relaciones de coautoría.

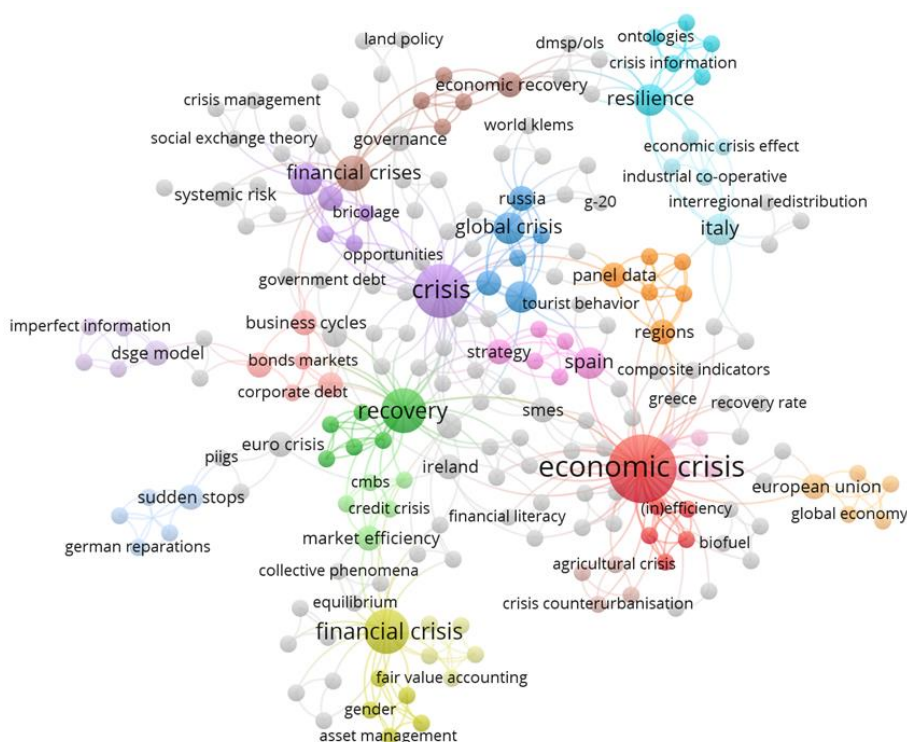


Figura 8. Mapa de coocurrencia de palabras en VOSviewer sin normalización

Partiendo de los artículos altamente citados, se realizaron algunos análisis bibliométricos, como el análisis de coocurrencia de las palabras, el análisis de co-citación, cuya visualización se dio a través de mapas bibliométricos que arrojo la herramienta VOSviewer. Los resultados principales mostraron que las áreas de mayor interés para los investigadores fueron los estudios sobre las crisis económicas, recuperación económica y Coronavirus basados en las crisis financieras, estrategias de recuperación y el impacto global que presentan las crisis económicas, como se muestra en la Figura 8.

Las matrices de citas generadas a través de ScienceDirect se cargaron en la herramienta VOSviewer (Van Eck y Waltman, 2010). Para el proceso de creación de las representaciones gráficas de las redes bibliométricas, primero se buscó medir la similitud de los valores de co-citación y coocurrencia de las unidades analizadas, aplicando el índice de similitud denominado Fuerza de Asociación (FA) (Van Eck y Walkman, 2010), dando lugar a matrices de coocurrencias normalizadas. El índice FA se basa en la normalización de la intensidad de las asociaciones de las parejas de unidades de análisis, con su aplicación se obtiene el correspondiente peso de cada co-citación, y de cada coocurrencia de palabras-clave.

Luego de esto, se buscó el posicionamiento de los nodos en un espacio bidimensional, de manera que los nodos que se posicionaron cerca los unos de los otros se consideraron que estaban fuertemente relacionados, mientras que los nodos muy alejados se consideraron que estaban débilmente relacionados. Para este propósito, se utilizó la técnica de visualización de similitud VOS (Visualization of Similarities) (Van Eck y Walkman, 2010). La técnica de mapeo VOS permitió ejecutar diferentes algoritmos de clustering para posicionar y clasificar las co-citaciones (Ver Figura 9) y la coocurrencia de palabras-clave (Ver Figura 10), en grupos similares. A su vez, el algoritmo de clustering de VOSviewer incluye diferentes parámetros de resolución, según el valor que se proporcione para configurarlo, para obtener diferentes niveles de agregación. Un agregado, o clúster, es un conjunto de nodos estrechamente relacionados, cada nodo en una red está asignado solamente a un clúster. Por último, los diferentes grupos generados se representaron en mapas etiquetados, en los que las diferentes unidades se representaron en círculos o nodos y etiquetas, conectadas por enlaces o líneas. El tamaño de los nodos en el análisis de cocitación representa el número normalizado de citas recibidas por cada ítem y el grosor de las líneas representa la fuerza de los vínculos. El vínculo y la proximidad entre dos ítems identifican la relación de citación, o coocurrencia en su caso, entre dos unidades de análisis. El color aleatorio de los nodos indica el grupo con el que cada ítem está asociado.

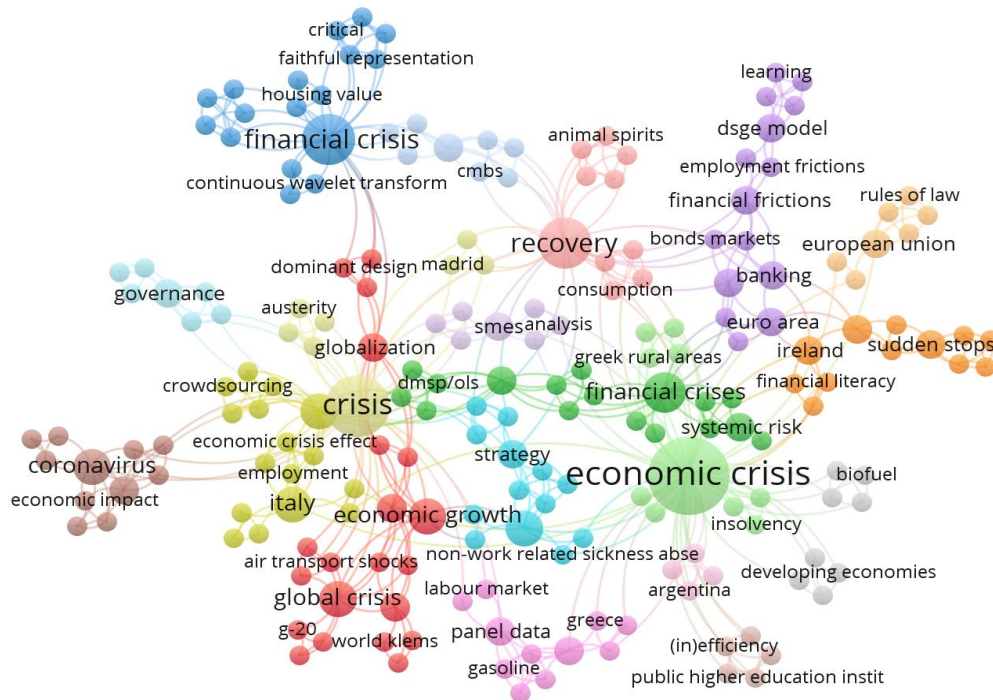


Figura 9. Mapa de coocurrencia de palabras clave de la revisión de literatura en VOSviewer

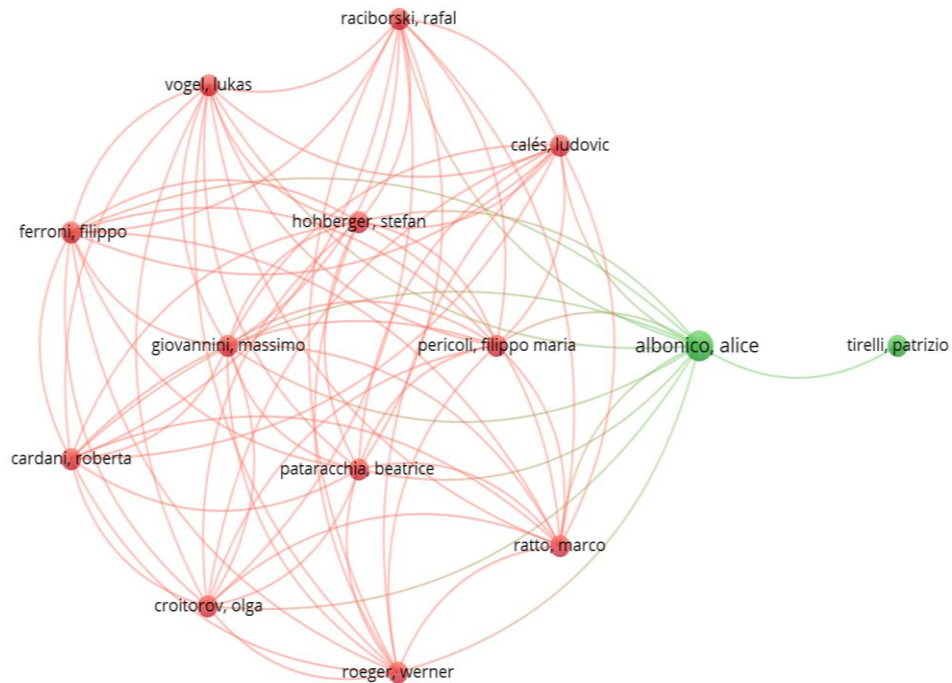


Figura 10. Mapa de coautoría en las redes bibliométricas en VOSviewer

Este tipo de mecanismos de análisis son de especial uso, ya que permite conocer la relación entre palabras clave dentro de un área de investigación, basados pues en la cercanía de las palabras dentro del mapa bibliométrico.

2.3. Antecedentes – Modelos dinámica de sistemas

Además de la revisión literaria proporcionada por las diferentes bases de datos, se procede a investigar sobre modelos en la dinámica de sistemas que funcionaran de base y proporcionaran información relevante a la hora de abordar la construcción del modelo. Así se encontraron modelos que funcionaban de punto de partida y alimentaban la estructura de nuestro modelo, como lo son el modelo World de Jay Forrester y el modelo epidemiológico con preocupaciones económicas elaborado por Jack Homer.

2.3.1. J. Forrester's World Model

En 1971 publicó el libro *World Dynamics* que contiene el primer modelo llamado World, que trata de interacciones complejas de la economía, la población y la ecología del mundo. J. Forrester en su trabajo vio cinco problemas principales que podrían provocar las crisis mundiales. Serían la superpoblación del planeta, la falta de recursos básicos, el nivel crítico de contaminación, la escasez de alimentos e industrialización y el crecimiento industrial relacionado. Vinculó una sola variable

con cada uno de estos problemas. Entonces, se tiene un sistema de cinco niveles, que definen la estructura del sistema:

- Population (P).
- Pollution (Z).
- Natural resources (R).
- Fixed capital (K).
- Capital investment in agriculture fraction (X).

La Figura 11 muestra la esfera Población y Alimentos del modelo y en los gráficos de la derecha las predicciones correspondientes sobre el desarrollo de la población y los recursos alimentarios hasta el año 2100.

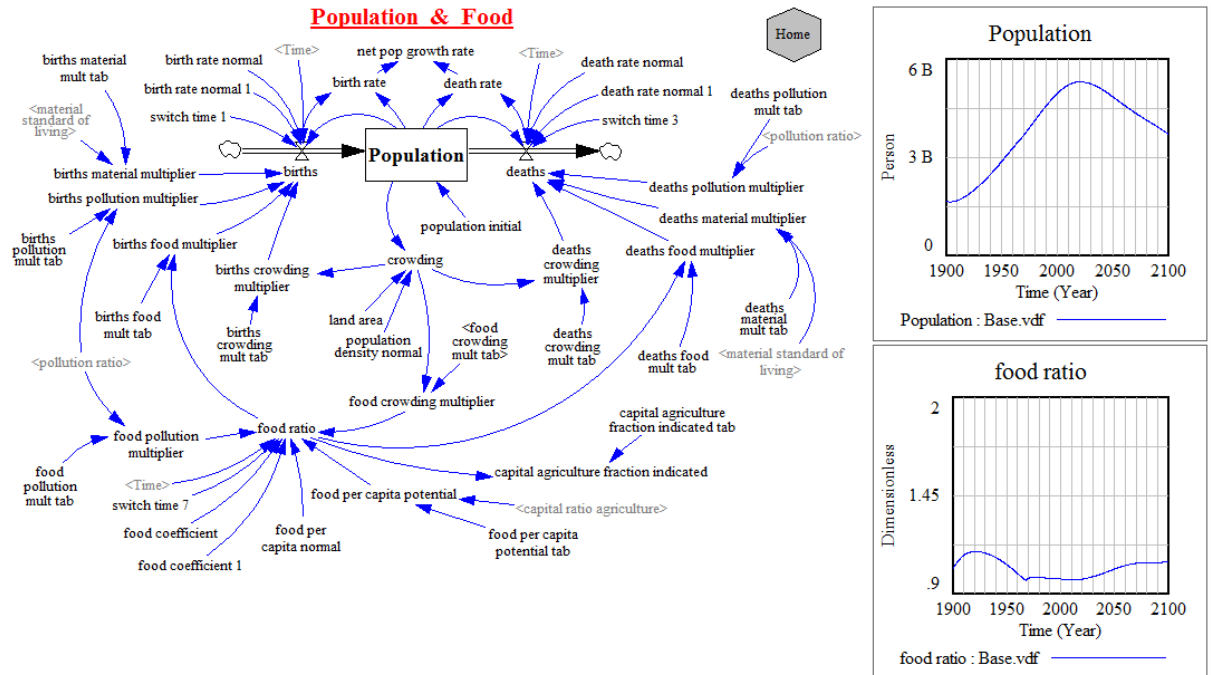


Figura 11. Nivel sobre población y alimento del modelo mundial de J. Forrester

El modelo fue muy criticado en su momento, pero demasiado importante para el desarrollo posterior de la metodología de la dinámica de sistemas y de las ciencias de sistemas en general. Se sugirieron varias mejoras y actualizaciones para el modelo, como los modelos World 2 y World 3 de Forrester, el modelo Mesarovic/Pestel, el modelo Bariloche, el modelo MOIRA, el modelo SARU, el modelo FUGI o el modelo mundial ONU.

Una versión abreviada del escenario que crea en el World Model, es uno en el cual el crecimiento de la población participa en un ciclo de retroalimentación de refuerzo, y la población, la industria y la agricultura en crecimiento exponencial ejercen cada vez más presión sobre la tierra restante, los recursos restantes y el medio ambiente (resto de aire, agua y tierras limpias).

2.3.2. Homer Model

Este es un modelo de Covid-19 en los EE. UU, con respuestas de comportamiento y contrapresión de preocupaciones económicas, elaborado por Jack Homer (Ver Figura 12). En esta actualización, Homer pretende buscar respuesta a la pregunta puntual:

¿Existe una estrategia Covid-19 que pueda salvar vidas y prevenir daño a la economía?

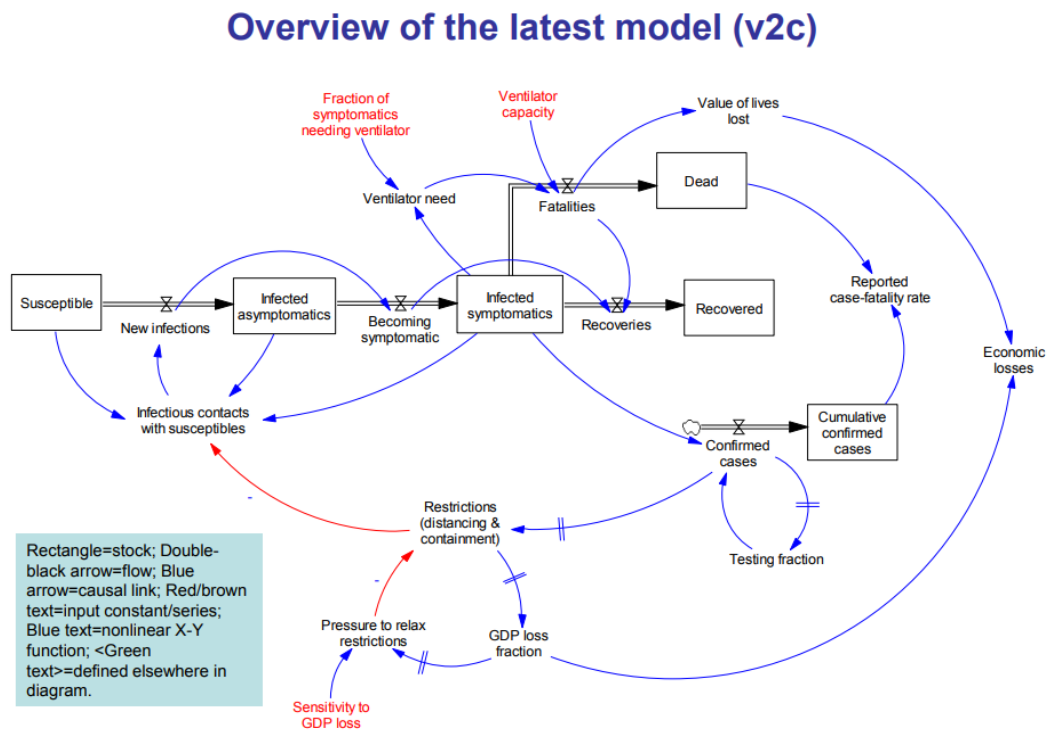


Figura 12. Modelo sobre Covid-19 con preocupaciones económicas de Jack Homer

Según las simulaciones se sugiere que no existe tal estrategia. Por el contrario, la preocupación por evitar pérdidas del PIB debilita la determinación de las personas

y permite que la epidemia explote. Además, esto forzará restricciones a medias durante muchos meses y terminaría por no evitar una recesión después de todo.

Según Homer los estados deben obtener subvenciones en bloque para crear puestos de trabajo temporales necesarios para controlar la crisis de salud pública, como trabajadores para centros de pruebas, detección térmica en lugares públicos, rastreo de contactos generalizado, monitoreo de cuarentena y desinfección del transporte público y lugares públicos.

3. Pregunta de Investigación y Objetivos

La evaluación de la efectividad de las estrategias de recuperación económica planteadas por el gobierno para hacer frente a la pandemia del Covid-19 en Colombia supone dificultades relacionadas con las características de dichas estrategias. Este capítulo presentara la pregunta de investigación en concordancia con los antecedentes presentados en el capítulo anterior. Adicionalmente se presentan los objetivos que se pretender alcanzar por medio de este trabajo.

3.1. Pregunta de investigación

La argumentación presentada supone la posibilidad de diseñar un modelo para la evaluación de la efectividad de las estrategias de recuperación económica planteadas por el gobierno para hacer frente a la pandemia del Covid-19 en Colombia. De esta forma, la hipótesis general propuesta para este trabajo es la siguiente:

¿Es posible diseñar un modelo que permita evaluar la efectividad de las estrategias de recuperación económica planteadas por el gobierno para hacer frente a la pandemia del Covid-19 en Colombia?

Con base en lo anterior, los objetivos planteados son los siguientes:

3.2. Objetivo general

Estudiar dinámico sistémicamente los efectos de las estrategias de recuperación económica post Covid-19 en Colombia.

3.3. Objetivos específicos

- Diseñar una hipótesis dinámica que explique los efectos de las estrategias de recuperación económica post Covid-19 en Colombia.
- Diseñar un modelo dinámico en ecuaciones diferenciales sobre los efectos de las estrategias de recuperación económica post Covid-19 en Colombia.
- Evaluar políticas sobre los efectos en las estrategias de recuperación económica post Covid-19 en Colombia a través del modelo propuesto.

4. Metodología

Luego presentar las crisis económicas, sus conceptos fundamentales y antecedentes, el problema de investigación, y la hipótesis, este capítulo discute y presenta una revisión sobre el método y los instrumentos para abordar el diseño del modelo y la evaluación de la efectividad de estrategias de recuperación económica adoptadas por el gobierno colombiano. Se ofrece una descripción de la metodología de la Dinámica de Sistemas como herramienta y se presenta el diseño general de la investigación.

4.1. Metodología de la Dinámica de Sistemas

Con el fin de desarrollar un modelo que describa con precisión la economía nacional durante un período de tiempo fijo, se eligió la Dinámica de Sistemas como el paradigma de modelado principal. La Dinámica de Sistemas es particularmente útil cuando se intenta abordar el modelado de complejos problemas sociales, económicos y políticos dinámicos, como la economía nacional con varios sectores de apoyo complejos. Esta sección sobre metodología proporciona una breve introducción a Dinámica de Sistemas y los pasos formales del proceso de modelado.

Para el desarrollo de esta propuesta se plantea el uso de dicha metodología que permitirá la evaluación de estrategias que propone el gobierno colombiano frente a la crisis económica provocada por el Covid-19. En la Figura 13 se puede observar un resumen de los pasos a seguir a la hora de aplicar una metodología de esta técnica de modelado. A continuación, se presenta una descripción de cada uno de ellos.

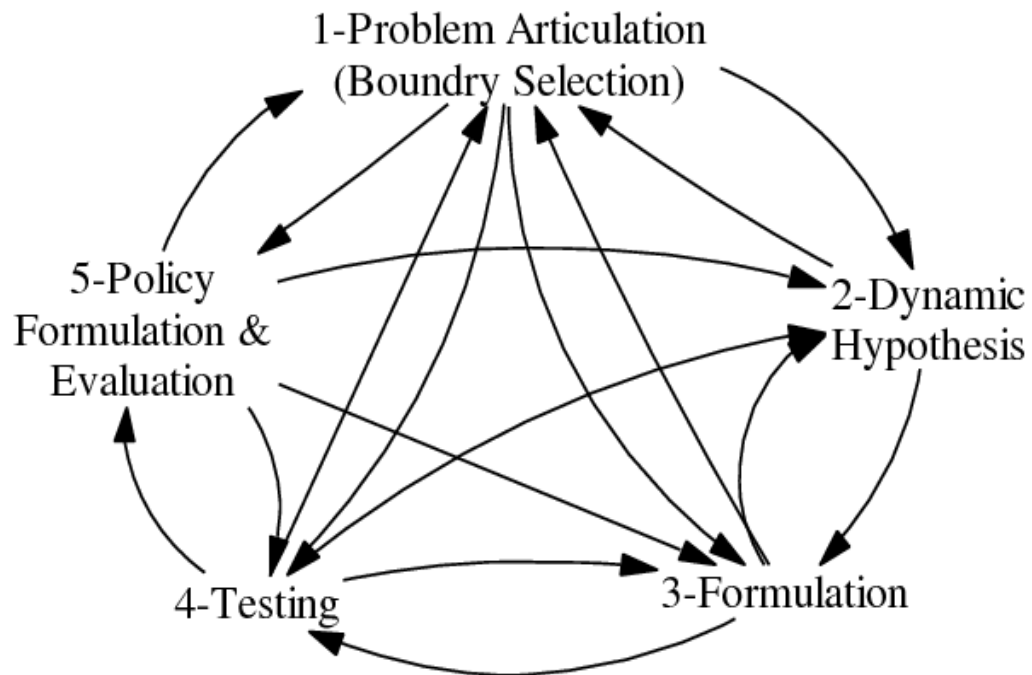


Figura 13. Proceso de modelado en Dinámica de Sistemas

4.1.1. Articulación del problema

El proceso debe iniciar con definir y delimitar el sistema de acuerdo con las cuestiones que se definan y lo que se quiera lograr con este proceso. Por lo cual, se debe identificar muy bien el problema. Se inicia con la recopilación de información, recolección de datos y enlistar todas las variables que se consideren necesarias para analizar el sistema. Seguidamente, se identifican las variables clave (variables exógenas y endógenas) asociadas a los valores cuya variación, a lo largo del tiempo, se quiere estudiar y que ayuden a definir los límites del sistema. Una variable es una condición o decisión que puede influenciar en el comportamiento del proceso.

4.1.2. Diseño del diagrama causal

En la metodología de Dinámica de Sistemas los diagramas causales juegan dos papeles importantes. Primero, en la fase del desarrollo del modelo sirven como bocetos preliminares de hipótesis causales y como segundo, proporcionan una visión general y simplificada del modelo. Las flechas o enlaces del diagrama simbolizan las relaciones entre las variables. La dirección de los enlaces muestra la dirección de la causa-efecto. Los signos, positivo y negativo, demuestran el signo del efecto; cuando el signo es positivo las variables cambian en la misma dirección, de lo contrario cambia en la dirección opuesta. Los modos de realimentación son

ciclos de realimentación negativa o también llamado ciclo de balance o ciclo de realimentación positiva o ciclos de refuerzo. Los ciclos de balance exponen un comportamiento de la búsqueda de objetivos, que después de una perturbación del sistema busca una situación de equilibrio. En un ciclo de refuerzo una perturbación inicial orienta hacia un cambio adicional, lo que propone la presencia de un equilibrio inestable (Georgiadis, 2013; Vlachos, Georgiadis, & Iakovou, 2007).

4.1.3. Diseño del modelo

Los modelos se diseñan a través de la abstracción de la realidad, con el fin de ayudar a comprender determinados aspectos de un sistema (L. R. Izquierdo et al., 2008), ello comienza con la observación del sistema que se va a estudiar, lo cual incluye muchas veces la recolección de datos necesarios para el análisis. Se establecen las condiciones de simulación, así como las relaciones causales que existan entre las variables seleccionadas a través de un diagrama causal. Dichos diagramas muestran los ciclos de realimentación que presentará el sistema y de igual manera los retardos que se deben considerar. Posterior a eso, se continúa con el diseño del modelo. Un modelo será útil en la medida en que se logre captar los detalles más relevantes del sistema de estudio y genere conocimiento que se puedan replicar a otras situaciones.

4.1.4. Formulación del modelo matemático

Los modelos cualitativos en Dinámica de Sistemas involucran diferentes tipos de variables. Los rectángulos representan las variables de nivel que acumulan información; las entradas a estos niveles se simbolizan mediante tuberías y válvulas las cuales representan las variables de flujo (que suman en el modelo matemático) y las salidas restan de la acción anterior. Las ecuaciones de nivel se determinan como las integrales de tiempo de los flujos netos. Los flujos se definen mediante las funciones de tiempo de las existencias y los parámetros del sistema. Este diagrama de flujos y niveles se traduce como un sistema de ecuaciones diferenciales que, debido a su complejidad, se resuelven por medio de simulación. Hoy día la simulación se realiza mediante programas de simulación gráfica como Powersim, Vensim, Stella, Ithink, entre otros.

Esta sección proporciona entonces las ecuaciones matemáticas desarrolladas para mantener el análisis lo más genérico posible. Las ecuaciones se deducen o establecen por la estructura del modelo que se representa con el diagrama de niveles y flujos, lo que incluye también las variables auxiliares y constantes (llamadas parámetros) que ayudan a aclarar el modelo. En los modelos de Dinámica

de Sistemas, las variables de niveles y flujos representan el modelo matemático de ecuaciones diferenciales; los eventos planteados pueden suceder en cualquier momento y el cambio puede ocurrir continuamente. La denotación matemática general entonces, de los niveles y flujos viene dado por las siguientes ecuaciones:

$$N(t) = \int_0^t [F_{entrada}(t) - F_{salida}(t)] dt + N(t_0) \quad (1)$$

$$F_{entrada} = f(N(t), E(t), P); \quad (2)$$

$$F_{salida} = g(N(t), E(t), P) \quad (3)$$

Donde, E es cualquier variable exógena y P parámetros del sistema (Georgiadis & Michaloudis, 2012).

4.1.5. Validación del modelo

En esta fase se expone el modelo a pruebas y análisis para analizar su validez y calidad. De acuerdo con dichas pruebas, el modelo requerirá o no realizar ajustes o cambios para parecerse al sistema real estudiado. Los análisis pueden ser variados y abarcan la comprobación de la consistencia lógica de las hipótesis. La validación del modelo se realiza en dos niveles:

- ✓ **Prueba de estructura.** El principal criterio de validación de los modelos de Dinámica de Sistemas es la validez de la estructura, que es el conjunto de relaciones utilizadas en el modelo, en comparación con los procesos reales. Para descubrir fallas en la estructura existen ciertas técnicas y pruebas. Entre las que se encuentran las pruebas de estructura directa e indirecta. Las pruebas de estructura directa conllevan una evaluación comparativa de cada ecuación del modelo y el sistema real (o en la literatura analizada) o por medio del criterio de expertos. Las pruebas de estructura indirecta desarrollan un proceso subjetivo y cualitativo que compara las ecuaciones con las relaciones reales (González-Busto, 1998; Vlachos et al., 2007).
- ✓ **Prueba del comportamiento orientada a la estructura.** Las pruebas de estructura indirecta son métodos cuantitativos para probar la validez de la estructura del modelo. En estas pruebas existen dos tipos de pruebas, el análisis de sensibilidad y pruebas de condiciones extremas. Las pruebas de condiciones extremas suponen la asignación de valores extremos a los parámetros del modelo comparándolos con los valores extremos que tomaría el sistema real, si el modelo posee algún defecto estructural en estas

condiciones, se pueden evidenciar en este tipo de pruebas. Las pruebas de sensibilidad constan en determinar los parámetros con los que el modelo puede llevar a ser sensible y si dichas sensibilidades tendrían alguna implicación en el sistema real. Si ello ocurre, esto se traduce en fallas en las ecuaciones del modelo (Vlachos et al., 2007).

4.1.6. Formulación y evaluación de políticas

En esta fase se proponen políticas que se desean evaluar con el modelo propuesto, se establecen las posibles combinaciones, las probables y las poco probables. Por ello se requiere comprobar qué tan exacto es el modelo y qué tan sensible ante los cambios que se establecerán. En la siguiente fase se validan dichas políticas. Es recomendable validar el modelo bajo condiciones extremas, tanto en los límites superiores como inferiores, ello generará una curva de aprendizaje al respecto del sistema real. En la Figura 14 se puede observar el proceso metodológico que se llevará a cabo para el desarrollo del proyecto de investigación, que incluye cada objetivo o fase a alcanzar, así como sus actividades y sus respectivas herramientas de análisis.

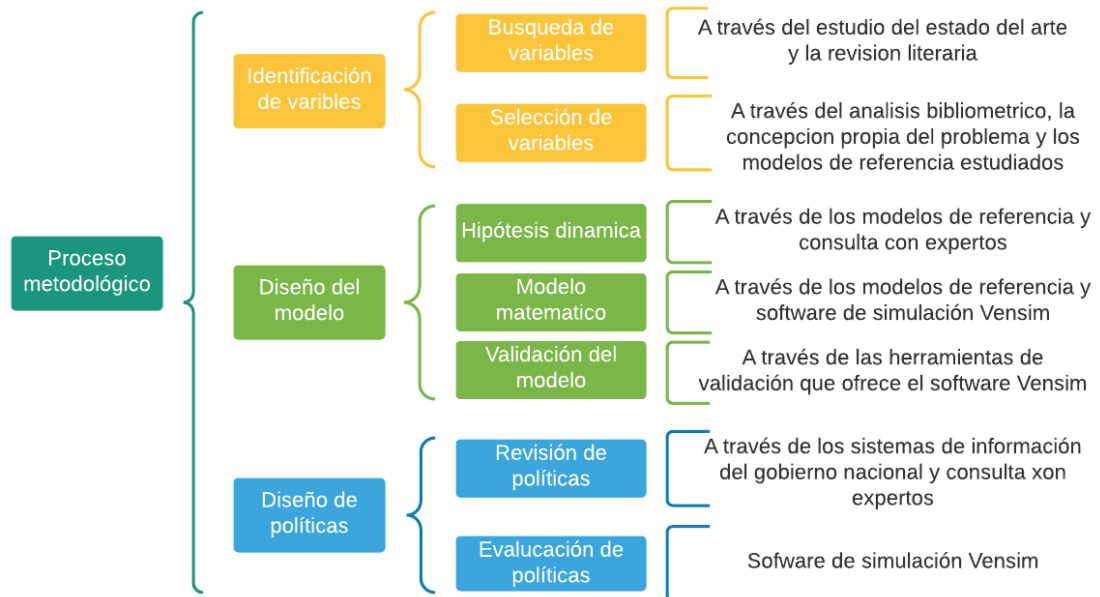


Figura 14. Proceso metodológico implementado en el proyecto.

5. Resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de la construcción del modelo y evaluación de estrategias seleccionadas. Inicialmente se identificaron las variables a partir de una revisión de la literatura; posteriormente, se seleccionaron las variables que se emplearon para la construcción del modelo del sistema a través de la validación con personal experto; luego se construyó el modelo y se calibró por medio de la validación con expertos. Por último, se muestran los resultados del modelo cuando se evalúan las estrategias seleccionadas.

5.1. Definición de las variables del modelo

En la Tabla 4 se observan algunas de las variables de estado y los parámetros que se emplearon para el diseño del modelo, se muestran las variables seleccionadas a través de la literatura y los modelos de referencia estudiados. Sin embargo, algunas fueron excluidas teniendo en cuenta la complejidad para simularlas y el alcance de la presente investigación.

Variable	Descripción	Tipo de variable
Apertura de empresas	Cantidad de empresas nuevas que se forman	Endógena
Apertura normal de empresas	Comportamiento de apertura de empresas en situaciones normales	Endógena
Base de propensión marginal al ahorro	Funciona como base para el cálculo de la propensión marginal al ahorro	Endógena
Cantidad empresas	Constante como valor inicial de las empresas	Endógena
Cantidad normal de empleos	Constante como valor inicial de los empleos	Endógena
Cierre de empresas	Cantidad de empresas que se cierran	Endógena
Cuarentenas	Medidas de confinamiento	Exógena
Desempleo por cierres	Cantidad de personas desempleadas debido al cierre de empresas	Endógena
Duración normal de empresas	Duración de las empresas en situaciones normales	Endógena

Duración promedio de empresas	Efecto de los ingresos en la duración normal de las empresas	Endógena
Efecto de cuarentenas en apertura de empresas	Efecto de las medidas de confinamiento sobre la apertura de nuevas empresas	Exógena
Efecto de cuarentenas en empresas	Efecto de las medidas de confinamiento sobre la cantidad de empresas en funcionamiento	Exógena
Efecto de ingresos en duración de empresas	Efecto que tiene los ingresos en la duración promedio de los negocios	Exógena
Efecto de ingresos en los trabajos	Efecto que tienen los ingresos en la cantidad de empleos disponibles	Endógena
Efecto del miedo en propensión marginal al ahorro	Efecto del aumento de la tasa de desempleo sobre las personas empedadas	Exógena
Empleos	Cantidad de personas empleadas	Endógena
Empleos promedio por empresa	Promedio de empleos disponibles en las empresas	Endógena
Empresas	Cantidad de empresas en funcionamiento	Endógena
Estímulo a las empresas	Programas de solvencia económica implementados por el gobierno nacional	Exógena
Estimulo por aumento desempleo	Prestaciones gubernamentales que se le ofrecen a las personas que pierden su empleo	Exógena
Fracción de cambio en empleos	Representación del cambio en los niveles de empleo	Endógena
Fracción de empresas no esenciales	Porcentaje de empresas cuyo funcionamiento tuvo afectaciones leves	Endógena
Fracción de empresas no esenciales reutilizadas	Porcentaje de empresas cuyo funcionamiento tuvo afectaciones leves, pero que se enfocaron en otras actividades	Endógena
Fracción de empresas que cerrarían	Porcentaje de empresas que debido a las cuarentenas pararon su funcionamiento	Endógena
Gastos consumidores	Gastos realizados por las personas en relación a sus ingresos	Endógena
Incremento del estímulo	Nivel de intervención económica del gobierno en las empresas	Endógena
Ingreso años anteriores empresas	Ingresos de las empresas en años anteriores	Exógena
Ingreso de empresas	Ingresos de las empresas debido a las cuarentenas	Endógena
Ingreso personal promedio	Ingreso promedio de las personas	Exógena

Ingreso total empresas	Ingreso total de las empresas teniendo en cuenta los gastos	Endógena
Mano de obra	Cantidad de personal disponible	Endógena
Oportunidad de aperturas	Empresas que desaparecen crean alguna oportunidad para futuros negocios	Endógena
Propensión marginal al ahorro	Repercusiones del aumento de la tasa de desempleo sobre las personas empedadas	Endógena
Tasa desempleo	Nivel de desempleo generado por las cuarentenas	Endógena

Tabla 4. Definición de las variables del modelo

5.2. Diseño del modelo

En esta fase se realizó la construcción de una hipótesis, con la cual se pretende entender las relaciones causales entre las variables más relevantes que influyen en la situación actual por la que atraviesan las empresas. Para lograr establecer la dinámica actual existente en el medio, se encontró apoyo en el documento CONPES 3999 del Departamento Nacional de Planeación donde se ilustra el comportamiento y las estrategias de respuesta ante los efectos de la pandemia del covid-19 sobre la salud pública, los hogares, el aparato productivo y las finanzas públicas. Además del modelo de referencia World de Jay Forrester (Forrester, 1971) y el modelo epidemiológico con preocupaciones económicas de Jack Homer (Homer, 2020). Los datos tales como cantidad de empresas, ingresos de las empresas promedio y demás, fueron obtenidos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2020) y abstraídos de los documentos de apoyo presentados en la revisión de literatura.

5.2.1. Hipótesis dinámica

La hipótesis se compone de seis ciclos o bloques que consideran las diferentes variables que intervienen en el medio. El diagrama causal de la Figura 15, establece las relaciones entre las diferentes variables, los ciclos conformados entre ellas y la dinámica que se presenta. En la misma se aprecian seis ciclos o bloques que se establecen como las variables macro del modelo. Bloque de Dinámica de empresas, de Puestos de Trabajo, Desempleo, Gastos de consumidores, Ingresos y Propensión Marginal al Ahorro.

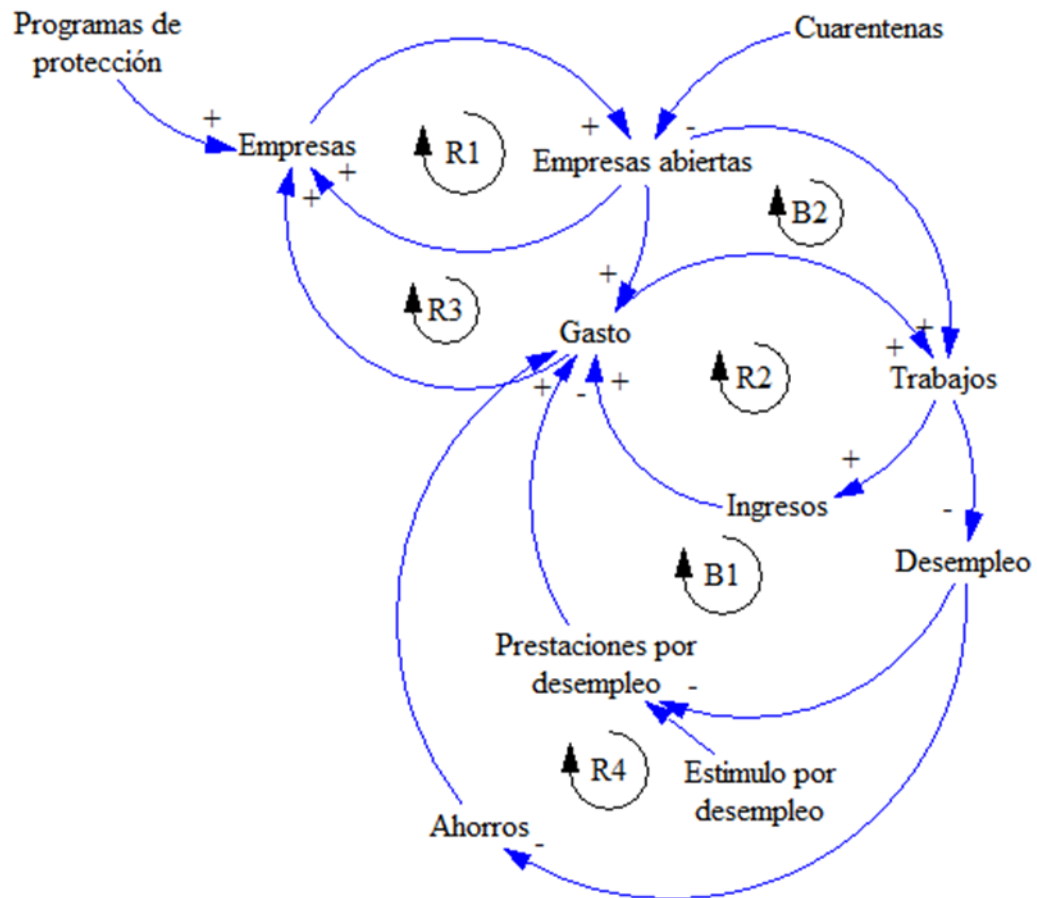


Figura 15. Hipótesis dinámica sobre los impactos económicos tras la pandemia.

La Figura 15 muestra una representación de la estructura general del modelo diseñado para evaluar la efectividad en las estrategias de recuperación económica adoptadas por el gobierno colombiano frente a la actual pandemia por Covid-19. Se presentan los seis ciclos de realimentación más importantes en la determinación del comportamiento de los organismos. Los ciclos definidos articulan el funcionamiento de estructuras flujo nivel que determinan el comportamiento de las variables y mecanismos más importantes de cada ciclo de la siguiente manera:

Ciclo de refuerzo R1: **Dinámica de empresas.** Este ciclo determina el comportamiento de las empresas tanto en la apertura de empresas como su cierre a causa de las cuarentenas. Es así como el número de empresas abiertas es determinado por la cantidad de empresas existentes, es decir, a mayor número de empresas, más de ellas estarán abiertas. Así cuantas más empresas estén abiertas, más de estas permanecerán en funcionamiento. Luego este ciclo se ve afectado por

una orden de quedarse en casa o una serie de cuarentenas, esto reduce el número de empresas abiertas, lo que eventualmente reducirá el número de empresas.

En la misma figura se evidencia el ciclo de refuerzo R2: **Puestos de Trabajo**. Este ciclo permite estudiar el comportamiento de los puestos de trabajo o la fuerza laboral presente en las etapas productivas de las empresas. Siguiendo el orden del ciclo anterior, a un mayor número de empresas abiertas más puestos de trabajo se dispondrán, esto a su vez aumentará la cantidad de ingresos por trabajo. Así, cuantos más ingresos provengan del empleo, más dinero se gastará, lo que permitirá respaldar más puestos de trabajo. Por otro lado, si se siguen un conjunto de normas sobre higiene y distanciamiento denominadas medidas preventivas, la cantidad de empresas abiertas se verá reducida, lo que disminuirá la cantidad de puesto de trabajo disponibles. Así, al reducir los puestos de trabajo, la cantidad de ingresos también disminuirá y de esta forma el gasto de dinero será más conservador.

En este mismo sentido, el ciclo de balance B1: **Desempleo**, permite establecer los efectos causados por el establecimiento de medidas preventivas en las empresas. Es claro que, al establecer medidas preventivas va existir un menor número de empresas abiertas, y por ende los puestos de trabajo se verán reducidos, esto aumentará el número de personas desempleadas. Este aumento en la tasa de desempleo genera que se paguen más prestaciones por desempleo, que conduce a un gasto, aunque a un nivel menor. Dicho gasto eventualmente conduce a una reducción del número de empresas existentes. Este comportamiento nos genera un pequeño ciclo de refuerzo entre las empresas, las empresas abiertas y los gastos, representado en el ciclo de refuerzo R3: **Gastos de los consumidores con repercusiones en las empresas**. A su vez se crea un ciclo de balance en el exterior, representado en el ciclo de balance B2: **Efecto del desempleo sobre los ingresos**.

Finalmente, tenemos el ciclo de refuerzo R4: **Propensión Marginal al Ahorro**, el cual permite evaluar el comportamiento de las personas cuando las tasas de desempleo aumentan, ya que a medida que las tasas de desempleo son crecientes, el comportamiento entre las personas empleadas se vuelve un tanto nervioso, lo que genera que las tasas de ahorro aumenten. Esto reduce directamente los niveles de gasto de dinero en las personas, provocando pérdida de puestos de trabajo y con ello el nivel de desempleo sigue en aumento.

5.2.2. Diagrama de flujos y niveles

Con el modelo de simulación se busca explicar el comportamiento de las empresas colombianas a través de la contingencia generada por el covid-19. El análisis del sistema se llevó a cabo por medio de un modelo genérico, el cual cuenta con 62 variables, donde dos de ellas son de nivel (Empresas y Mano de Obra) y 2 son variables de flujo (Apertura y Cierre de empresas). Está dividido por secciones, tales como: Dinámica de empresas, Puestos de Trabajo, Desempleo, Gastos de consumidores, Ingresos y Propensión Marginal al Ahorro. El modelo fue desarrollado y simulado en el software de simulación Vensim PLE para la versión de Windows 8.1.0. Para esto se usó un tiempo final de simulación de 1 Año, analizando las simulaciones en un periodo de 12 meses y se empleó el método de integración Euler con un paso de integración de 0,25.

En la Figura 16 se observa el diagrama de niveles y flujos del modelo propuesto, el cual lo conforman algunos de los bloques que se describen a continuación:

En el bloque de Dinámica de las empresas, se cuentan con una variable de nivel, la variable de Empresas. El nivel de Empresas acumula la cantidad de organizaciones que se encuentran en funcionamiento y este disminuye o aumenta a medida que pasa el tiempo, el cual varía de acuerdo con el flujo de apertura de empresas (Forrester, 1971). Se espera que este disminuya, ya que se implementan medidas de confinamiento a nivel nacional, lo que generara el cierre de algunos negocios. Entre mayor sea el tiempo de las restricciones de funcionamiento a las empresas, mayor será el cierre total de empresas. Por otro lado, con el cierre de algunas empresas se vislumbra una oportunidad de apertura para nuevos negocios, la idea aquí es que las empresas que desaparecen crean alguna oportunidad para futuros emprendimientos. Para conseguir esto, el dinero de los programas de estímulo del gobierno permite a las empresas más pequeñas llenar algunos de estos vacíos. En la Tabla 5 se observan el sistema de ecuaciones del bloque de dinámica de las empresas con sus respectivas variables, relaciones y unidades.

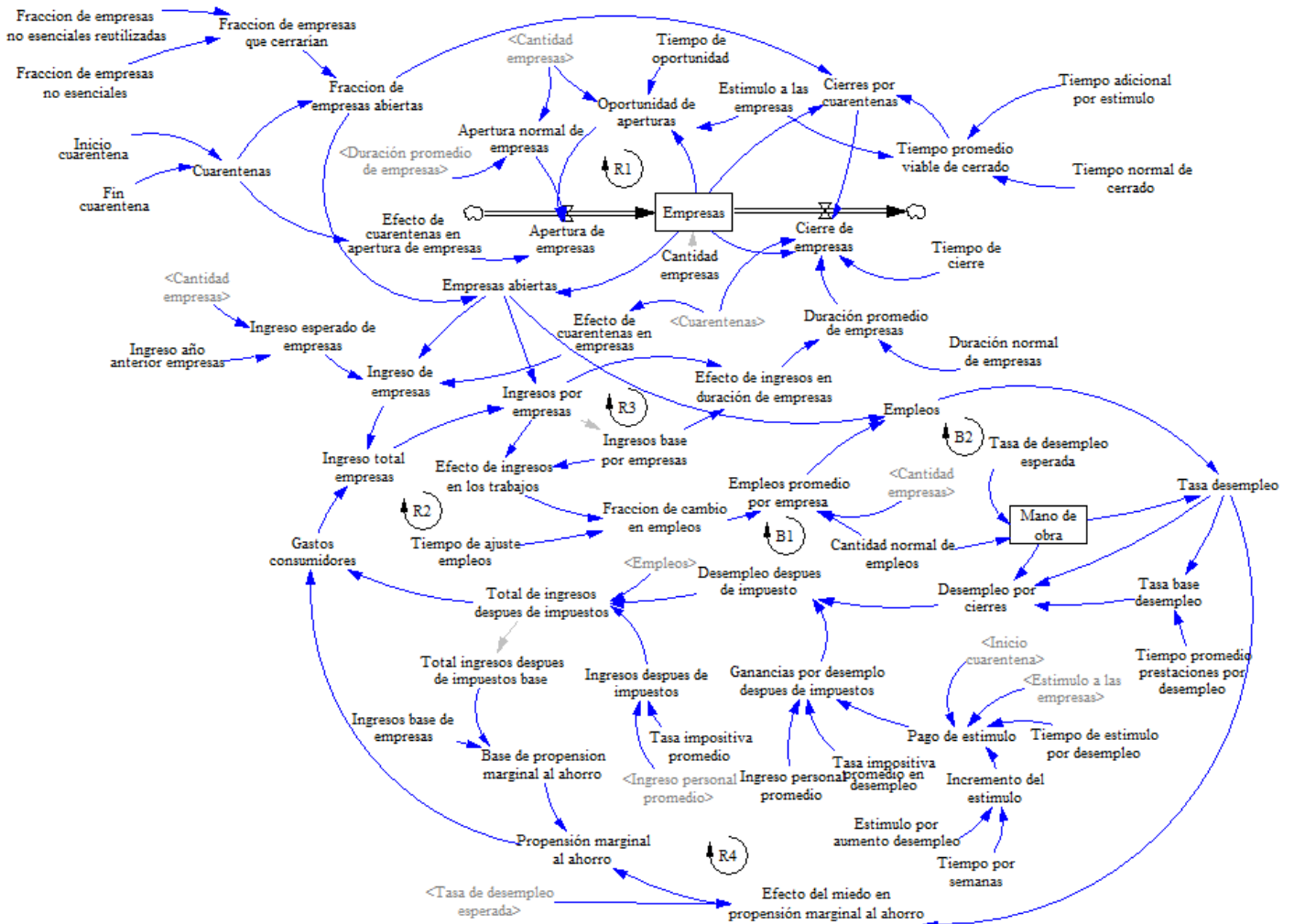


Figura 16. Estructura general del modelo sobre crisis económica colombiana

#	Variable	Formula	Unidad
1	Apertura de empresas	= (Oportunidad de aperturas) *(Efecto de cuarentenas en apertura de empresas) *(Apertura normal de empresas)	Empresas/ Month
2	Empresas	= (Apertura de empresas) – (Cierre de empresas)	Empresas
3	Cierre de empresas	= (Empresas/Duración promedio de empresas) + Cuarentenas * (Cierres por cuarentenas/Tiempo de cierre)	Empresas/ Month
4	Cantidad inicial de empresas	= 55 [Millones]	Empresas
5	Cuarentenas	= STEP (1, Inicio cuarentena) – RAMP (0.5, Fin cuarentena, Fin cuarentena + 2)	Dmnl
6	Inicio cuarentena	= 3,5	Month
7	Fin cuarentena	= 6	Month
8	Fracción de empresas que cerrarían	= (Fracción de empresas no esenciales) * (1 - Fracción de empresas no esenciales reutilizadas)	Dmnl
9	Fracción de empresas no esenciales	= 0,7	Dmnl
10	Fracción de empresas no esenciales reutilizadas	= 0,8	Dmnl
11	Fracción de empresas abiertas	= (1 – Cuarentenas) * (Fracción de empresas que cerrarían)	Dmnl
12	Efecto de las cuarentenas en la apertura de empresas	= Cuarentenas	Dmnl
13	Apertura normal de empresas	= Cantidad empresas/Duración promedio de empresas	Empresas/ Month
14	Oportunidad de apertura	= (1 - Estimulo a las empresas) * Estimulo a las empresas * SMOOTH3((Empresas/Cantidad empresas), Tiempo de oportunidad)	Dmnl
15	Tiempo de oportunidad	= 2	Month
16	Cierres por cuarentenas	= SMOOTH3((1 - Fracción de empresas abiertas) *Empresas, Tiempo promedio viable de cerrado)	Empresas
17	Tiempo promedio viable de cerrado	= Tiempo normal de cerrado + (Estimulo a las empresas * Tiempo adicional por estimulo)	Month
18	Tiempo adicional por estimulo	= 2	Month
19	Tiempo normal de cerrado	= 2	Month
20	Empresas abiertas	= (Fracción de empresas abiertas * Empresas)	Empresas

Tabla 5. Sistema de ecuaciones bloque dinámica de las empresas

En segundo lugar, el bloque de Puestos de Trabajo cuenta con variables como, Empleo, Ingresos Totales de las Empresas, Mano de Obra, etc. En este caso, debido a las cuarentenas, las empresas verán afectados sus ingresos totales debido a la reducción de los puestos de trabajo, lo que afectara sus niveles de producción, como se observa en la Figura 16. Como respuesta de las medidas de contingencia sanitarias establecidas por el gobierno nacional, se evidencia en los estudios realizados por (Behnido & Katina, 2015; Iwan, 2010) que los subsidios o el acceso a incentivos fiscales son un impulsor de sostenimiento en las empresas.

En la Tabla 6 se observan algunas de ecuaciones del bloque de Puestos de Trabajo con sus respectivas variables, relaciones y unidades.

#	Variable	Formula	Unidad
1	Ingreso esperado de las empresas	= (Ingreso año anterior empresas/Cantidad empresas)	Peso*Month/ Empresas
2	Ingresos en años anteriores de las empresas	= 1.01e+13/12	Pesos /Month
3	Ingresos totales de las empresas	= (Ingreso de empresas + Gastos consumidores)	Pesos /Month
4	Empleos	= (Empleos promedio por empresa * Empresas abiertas)	Personas
5	Efecto de los ingresos en los empleos	= MIN (Ingresos por empresas/Ingresos base por empresas, 1)	Dmnl
6	Fracción de cambio en empleos	= SMOOTHI (Efecto de ingresos en los trabajos, Tiempo de ajuste empleos, 1)	Dmnl
7	Tiempo de ajuste de empleos	= 0,5	Month
8	Empleos promedio por empresa	= (Fracción de cambio en empleos*Cantidad normal de empleos/Cantidad empresas)	Personas/E mpresas
9	Efecto de cuarentenas en empresas	= Cuarentenas	Dmnl
10	Ingresos promedio por empresas	= Ingreso total empresas/Empresas abiertas/1e+06	Peso*Month/ Empresas

Tabla 6. Sistema de ecuaciones del bloque de Puestos de Trabajo

Por otro lado, el bloque de Desempleo representa los efectos causas por las cuarentenas en las empresas abiertas y es que, al verse reducida la cantidad de empresas en funcionamiento, es claro que los puestos de trabajo se verán reducidos, aumentando así la tasa de desempleo. En la Tabla 7 se evidencia el sistema de ecuaciones del bloque del Desempleo con sus respectivas variables, relaciones y unidades.

#	Variable	Formula	Unidad
1	Tasa de desempleo	= MAX (Mano de obra-Empleos,0) /Mano de obra	Dmnl
2	Tasa de desempleo esperada	= 0.036	Dmnl
3	Desempleo por cierres	= MAX (Tasa desempleo - Tasa base desempleo,0) * Mano de obra	Personas
4	Mano de obra	= (Empleos promedio por empresa * Empresas abiertas)	Personas
5	Tasa base de desempleo	= SMOOTH3 (Tasa desempleo, Tiempo promedio prestaciones por desempleo)	Dmnl
6	Total de ingresos después de impuestos	= (Ingresos después de impuestos * Empleos + Desempleo después de impuesto)	Pesos/Month
7	Tiempo promedio de prestaciones por desempleo	= 4	Month
8	Desempleo después de impuestos	= (Desempleo por cierres * Ganancias por desempleo después de impuestos)	Pesos/Month

Tabla 7. Sistema de ecuaciones del bloque de Desempleo.

5.3. Resultados de simulación

Los análisis de los resultados del modelo proporcionan información de cómo el modelo representa los principales comportamientos del sistema real. Teniendo en cuenta que no se cuentan con información de una organización en particular para evaluar de manera empírica el modelo, se evaluó el modelo para validar de manera cualitativa el comportamiento de este. La simulación para la evaluación de la efectividad de las estrategias de recuperación frente a la crisis económica de Colombia presentada por la pandemia del Covid-19, permite dar cuenta de la variación de producción de las empresas que están en funcionamiento como consecuencia de los mecanismos identificados y especificados en el esquema diseñado.

En la Figura 17 se observa como cada mes en el horizonte de tiempo de la simulación el funcionamiento de las empresas van disminuyendo, debido a las medidas de confinamiento efectuadas por el gobierno nacional frente a la crisis sanitaria causada por el Covid-19, esto por supuesto trajo consigo un aumento en los niveles de desempleo, debido a los masivos despidos a los que fueron expuestas las empresas colombianas.

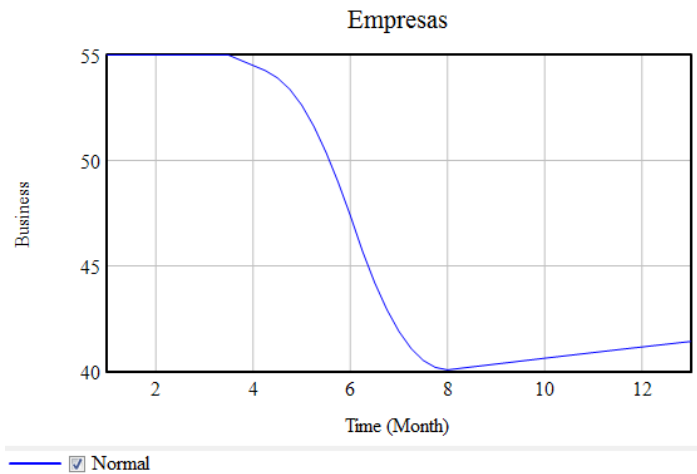


Figura 17. Comportamiento de las empresas frente a la pandemia

Por otro lado, si comparamos dicho comportamiento con un escenario donde se apliquen las medidas de sostenimiento empresarial que el gobierno propone para salvar a las empresas del impacto que ha dejado la crisis económica, tendríamos que dichos esfuerzos gubernamentales si alivianan la carga económica de las empresas, pues como se observa en la figura 18, se presenta en color azul la simulación correspondiente a el número de empresas en funcionamiento para el año 2020 en un escenario sin intervención gubernamental frente a una simulación en color rojo donde la intervención del gobierno si se dio, y demuestra que la cantidad de empresas en funcionamiento es mayor, ya que se logran solventar cerca de 7 millones de empresas.

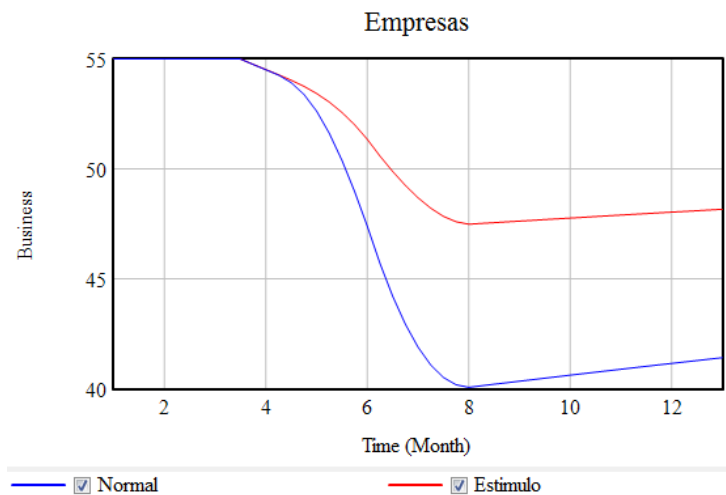


Figura 18. Simulación de escenarios sobre el funcionamiento de las empresas

Así mismo la Figura 19 presenta en color rojo el número de empresas en funcionamiento para el año 2020, así como el creciente número de cierres por empresas para el mismo año. Por otro lado, en color azul logra mostrar como sería el efecto que tendría sobre dichas empresas una intervención gubernamental a través de programas como el de salvamento a empresas colombianas. A su vez se puede concluir que la adopción de medidas si pueden representar un gran alivio para la economía colombiana, pero el golpe para las empresas ha sido tal que la recuperación de confianza y estabilidad luego de la pandemia se verá representada en una reducción del número de apertura de empresas, ya que como se puede apreciar, este va expresar ligeros cambios más, sin embargo, no representarían gran empuje a la economía.

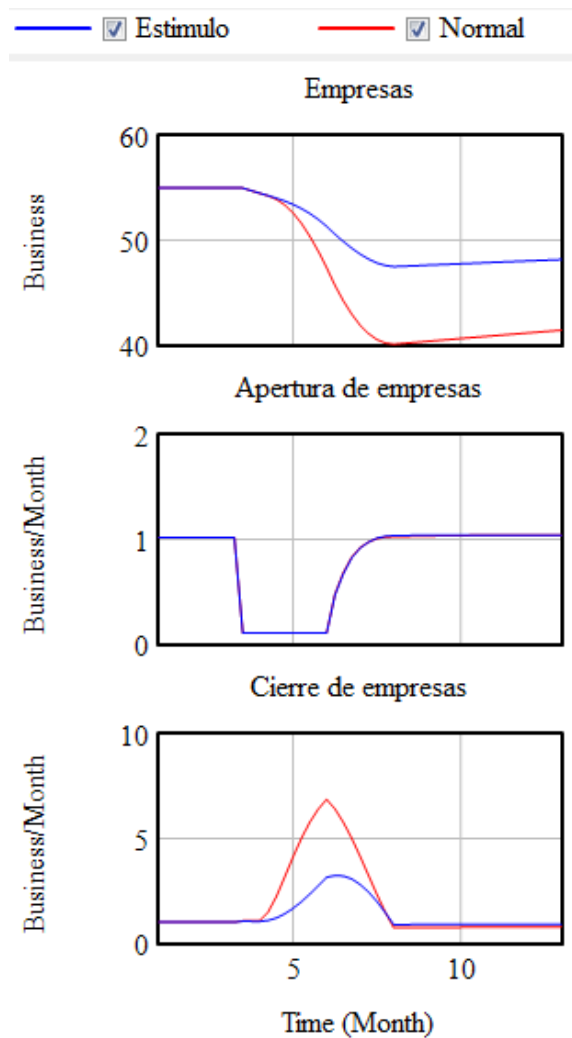


Figura 19. Comportamiento antes y después de las medidas adoptadas por el gobierno colombiano.

Otro de los aspectos que demuestra el comportamiento de las medidas tomadas por el gobierno colombiano en la actual crisis económica, es el de las tasas de desempleo, como se muestra en la Figura 20. En los escenarios planteados, la intervención del gobierno expresado en programas de salvamento a empresas y prestaciones por desempleo a trabajadores que por recorte de personal se quedaron sin empleo, logra aplacar la curva de crecimiento de las tasas de desempleo, expresadas de un 0,4% en escenarios sin intervención gubernamental a un -0,2% en escenarios donde si se presentan dichas estrategias.

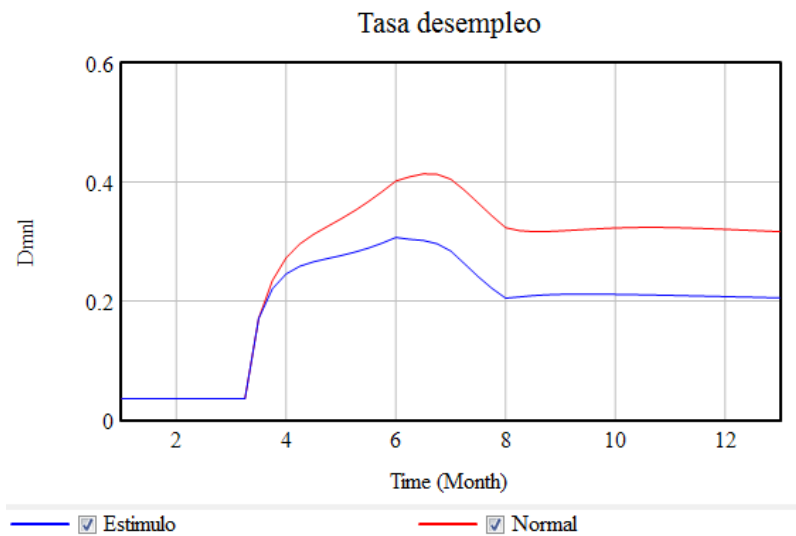


Figura 20. Tasa de desempleo en función de los escenarios de simulación

En la Figura 21 se aprecian para los dos escenarios planteados, uno de intervención del gobierno y otro donde no se presente dicha intervención o estímulo, como sería el comportamiento de las variables empleos promedio e ingresos por empresas. Así, para un escenario donde se presenten estímulos gubernamentales, la reducción en la tasa de desempleo traerá consigo un aumento de los empleos disponibles en las empresas que reciban una intervención gubernamental, y es que la cantidad de empleo ascenderá de 2,4 millones de empleos a alrededor de 2,6 millones de puestos de trabajo, lo que representa un aliciente para los miles de desempleados que ha dejado consigo la actual pandemia. Esto por su puesto también se vería reflejado en los ingresos totales que tendrían las empresas, ya que, a mayor mano de obra, mayores niveles de producción, lo que se representa en un aumento de casi 1,2 mil millones de pesos mensuales en las empresas para los meses 6 y 8.

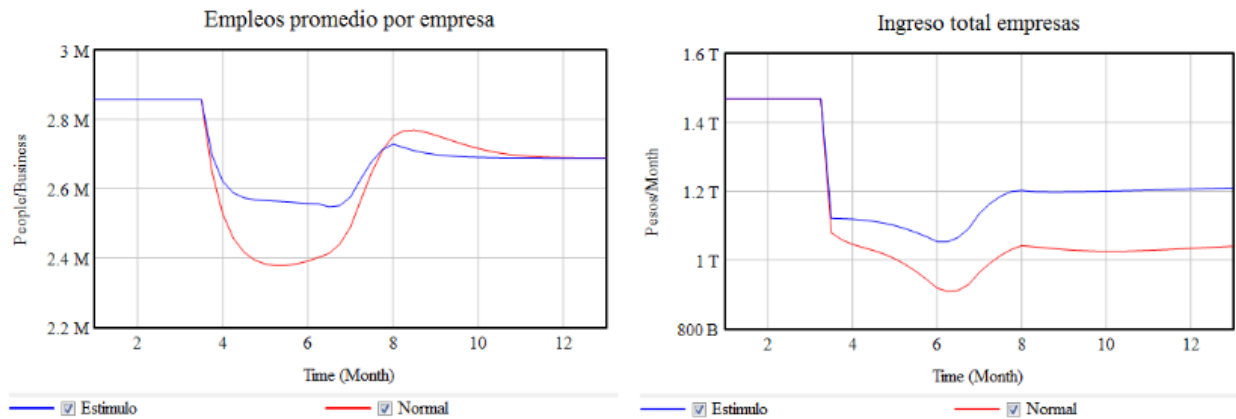


Figura 21. Promedio de empleos e ingresos totales de las empresas en función de los escenarios de simulación

5.4. Validación del modelo

La validación del modelo se puede plantear como una forma de comprobar si la estructura y el comportamiento de este brinda una representación lo suficientemente precisa y coherente del sistema que se está evaluando. Sólo después de validar la estructura, se procede con probar su comportamiento (Barlas, 1996). Si éste falla en las simulaciones, se debe ajustar hasta que cumpla con las condiciones del sistema en estudio (Müller et al., 2013). De igual manera, el modelo que se planteó en esta investigación es un modelo genérico, el cual puede ser puesto en práctica a través de datos empíricos en una organización específica.

5.4.1. Pruebas de estructura

El modelo se construyó de manera agregada, es decir, mediante el desarrollo de submodelos más detallados que admite su comportamiento con una representación más agregada. Se validó cada uno de los submodelos de manera independiente y que estos fueran acordes a la realidad en estudio, esto permite que cuando se agreguen se tenga más certeza de la validez del modelo (Barlas, 1996), e identificar si este nivel de detalle afecta o no de manera significativa los resultados finales del modelo. Tanto los submodelos como sus respectivos diagramas causales se elaboraron teniendo como referentes ejemplos de la literatura tales como: (Behnido & Katina, 2015; Iwan, 2010; Georgiadis & Michaloudis, 2012; Rydzak & Chlebus, 2007; Vlachos et al., 2007; Forrester, 1971; Homer, 2020). De igual manera, se analizaron las ecuaciones del modelo, confirmándose así la estructura del modelo. Se verificó también la coherencia dimensional entre variables, las relaciones lógicas y las unidades, en las Tablas 5, 6 y 7 se observan la consistencia dimensional de

las unidades del modelo. Las variables del modelo fueron revisadas una a una con el objetivo de identificar unidades que no fuesen coherentes con las unidades reales del sistema. Es así como estas presentan coherencia dimensional, lo que permite realizar los cálculos del modelo. Así mismo, el software de simulación Vensim PLE cuenta con herramientas para validar la estructura y consistencia de las variables, las cuales al realizarse en el modelo planteado arrojaron que tanto la estructura del modelo como la consistencia de las variables era correcta.

5.4.2. Pruebas de comportamiento

Este tipo de pruebas evalúa la estructura del modelo de forma directa, en este sentido se emplea el documento CONPES 3999 del Departamento Nacional de Planeación donde se ilustra el comportamiento de la empresa colombianas y las estrategias de respuesta ante los efectos de la pandemia del covid-19 sobre el aparato productivo. Además del modelo de referencia World de Jay Forrester (Forrester, 1971).

En la Figura 20 se observa cómo el modelo diseñado tiene un comportamiento igual al que se plantea en el documento CONPES 3999, en este se observa como la cantidad de empresa que se encontraban en funcionamiento iban a ser reducidas debido a las medidas de cierre que se adoptaron para hacer frente a la pandemia del Covid-19. Para este caso, se evidencia en la curva de la Figura 20, Empresas, el comportamiento deseado para el presente proyecto, donde dicho comportamiento condiciona así mismo la apertura y cierres de empresas. Esto también es representado en el modelo World de Jay Forrester (Forrester, 1971).

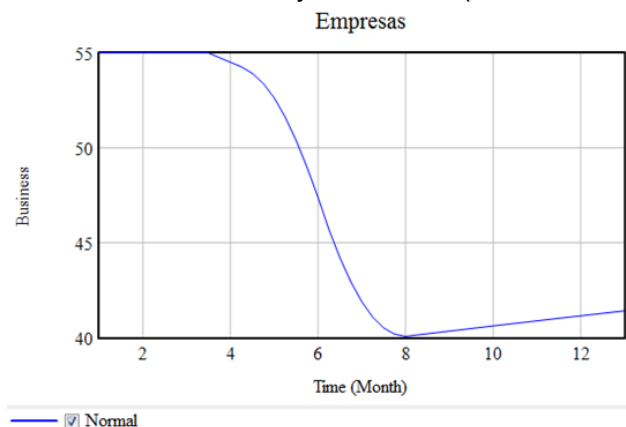


Figura 22. Representación del comportamiento de las empresas durante la pandemia

6. Cumplimiento de Objetivos, Trabajos Futuros y Conclusiones

Este capítulo sintetiza los aportes alcanzados por la investigación. Inicialmente se revisará el cumplimiento de los objetivos propuestos. Luego se presentará la discusión sobre la hipótesis general que orientó la investigación. A continuación, se sintetiza el aporte logrado con el modelo de evaluación de la efectividad en las estrategias de recuperación económica como método y los aportes obtenidos desde los resultados de las simulaciones. Al final se ofrece la conclusión general y se sugieren algunas posibilidades de trabajo futuro.

6.1. Cumplimiento de Objetivos

La Tabla 8 presenta la revisión de cumplimiento de los objetivos de investigación planteados. Los objetivos comprometieron el diseño de un modelo de Dinámica de Sistemas que permitiera evaluar los efectos en las estrategias de recuperación económica post Covid-19 en Colombia. El modelo diseñado fue presentado en el Capítulo 5. Se abordó la evaluación de la efectividad de las estrategias de recuperación aplicadas en la crisis económica provocada por el Covid-19 en Colombia. (Véase Capítulo 5). Se realizaron pruebas de simulación, que permitieran evaluar el modelo y la hipótesis dinámica de investigación. El modelo y la hipótesis de dinámica se mantienen vigentes luego de las pruebas aplicadas.

Objetivo	Cumplimiento
Diseñar una hipótesis dinámica que explique los efectos de las estrategias de recuperación económica post Covid-19 en Colombia	Cumplido: Se diseñó una hipótesis dinámica que explicara los efectos en las estrategias de recuperación económica post Covid-19 en Colombia (Véase Capítulo 5).
Diseñar un modelo dinámico en ecuaciones diferenciales sobre los efectos de las estrategias de recuperación económica post Covid-19 en Colombia	Cumplido: Se diseñó un modelo para la evaluación de los efectos en las estrategias de recuperación económica post Covid-19 en Colombia (Véase Capítulo 5).
Evaluar políticas sobre los efectos en las estrategias de recuperación económica post Covid-19 en Colombia a través del modelo propuesto	Cumplido: Se aplicaron pruebas de simulación que permitieron evaluar políticas sobre el modelo para la evaluación de los efectos en las estrategias de recuperación económica post Covid-19 en Colombia (Véase Capítulo 5).

Tabla 8. Revisión cumplimiento de los objetivos propuestos

6.2. Discusión sobre la Pregunta de investigación

La pregunta que orientó la investigación fue la siguiente:

¿Es posible diseñar un modelo que permita evaluar la efectividad de las estrategias de recuperación económica planteadas por el gobierno para hacer frente a la pandemia del Covid-19 en Colombia?

Esta investigación ha presentado evaluaciones que pretendieron responder esta pregunta. La pregunta se mantiene vigente luego de las pruebas aplicadas. Es decir, hasta el momento está vigente afirmar que es posible diseñar un modelo que permita evaluar la efectividad de las estrategias de recuperación económica planteadas por el gobierno para hacer frente a la pandemia del Covid-19 en Colombia.

6.3. Aportes

El modelo en Dinámica de sistemas para evaluar los efectos en las estrategias de recuperación económica post Covid-19, supone un aporte pues integra la Dinámica de Sistemas en la evaluación de comportamientos económicos como el que se presenta en la actual crisis, y permite comprobar el efecto que tienen las medidas tomadas por el gobierno nacional. No se han encontrado referentes sobre una integración de esta naturaleza en la literatura revisada.

La perspectiva que ofrece esta investigación para la evaluación de las crisis de económica causada por el coronavirus es novedosa. Si bien Calida (2015) y Azis (2010) argumentan sobre la crisis financiera del 2008 en EEUU y elaboran predicciones preliminares y recomendaciones de políticas que pueden ayudar a aumentar la tasa de recuperación y prevenir crisis similares. Un tratamiento de la crisis económica que incluya la evaluación de las estrategias de recuperación para el caso colombiano, como el realizado en esta tesis no ha sido ubicado en la literatura revisada.

6.4. Trabajos Futuros

La investigación deja abiertos varios caminos para el desarrollo de futuras investigaciones. A continuación, se hace una síntesis de las oportunidades de trabajo futuro que abre esta tesis en cuanto al Desarrollo Teórico y Metodológico.

6.4.1. Oportunidades de Desarrollo Teórico

La investigación ofrece variedad de oportunidades de desarrollo futuro. Se ofrecen, a manera de ejemplo, algunas de dichas oportunidades:

- **Desarrollo de mecanismos de evaluación de políticas públicas frente a situaciones de poca estabilidad económica.** Se vislumbra la posibilidad de desarrollar mecanismos explicativos a nivel micro que sean consistentes con el comportamiento macro que exhiben los organismos públicos en situaciones en las que golpe económico es fuerte. Este tipo de investigaciones podrían realizarse utilizando de manera integrada Dinámica de Sistemas.
- **Continuar con la investigación acerca de los efectos en las estrategias de recuperación económica en otras regiones.** Futuras investigaciones pueden evaluar como las crisis económicas pueden ser mitigada mediante configuraciones institucionales mejoradas que ofrezcan mejores

posibilidades a los ciudadanos para superar situaciones de poca estabilidad económica.

6.4.1. Oportunidades de Desarrollo Metodológico

- **Desarrollar criterios metodológicos para el diseño de mecanismos que apoyen la apertura de empresas, permitiendo enfrentar situaciones caracterizadas por esta complejidad dinámica.** Los resultados de investigación permiten vislumbrar la factibilidad de desarrollar instituciones para el fomento de la apertura empresarial que mejoren el desempeño de los grupos empresariales bajo condiciones de complejidad como lo son las crisis económicas.
- **Elaborar lineamientos metodológicos para el diseño de modelos de evaluación de mecanismos con Dinámica de Sistemas.** Variedad de situaciones caracterizadas por su complejidad dinámica podrían ser explicadas mediante modelos dinámicos de evaluación de mecanismos desarrollados con Dinámica de Sistemas. En futuros trabajos pueden desarrollarse lineamientos metodológicos que asistan el diseño de modelos que permitan mejorar la efectividad de los mecanismos para lograr objetivos económicos deseados.

6.5. Conclusiones

Este trabajo presentó un modelo diseñado para evaluar la efectividad de las estrategias de recuperación económica planteadas por el gobierno para hacer frente a la pandemia del Covid-19 en Colombia. El modelo diseñado integró mecanismos de estudio como: el comportamiento de las empresas, el flujo de empleos, los ingresos de las empresas y el desempleo generado durante las cuarentenas. Además, permitió mostrar los efectos que tendrían la implementación de estrategias gubernamentales para hacer frente a la crisis económica causada por el Covid-19.

Se evidencia la importancia de las estrategias evaluadas para mejorar el rendimiento de las empresas colombianas, respondiendo con ello la pregunta de investigación planteada en el capítulo 3 del proyecto de investigación.

Los resultados ilustran como una intervención gubernamental cuidadosa puede aliviar muchos de los efectos secundarios negativos. Al invertir en pequeñas empresas, menos empresas fracasan y más personas siguen empleadas. Por otra parte, están las prestaciones por desempleo, así al extender las cuarentenas y complementar el desempleo, quienes se ven obligados a quedarse sin trabajo obtienen los ingresos necesarios tanto para sobrevivir como para alimentar la economía.

El trabajo realizado ilustra la Dinámica de Sistemas como método para estructurar un problema actual y de gran importancia, no solo del sector empresarial, sino de otros sectores que están contribuyendo a la degradación de la economía nacional. Por consiguiente, los resultados de la presente investigación sirven como base para futuros trabajos sobre la implementación de programas de sostenibilidad económica en las organizaciones por parte del gobierno colombiano. Permitiendo generar conocimiento sobre cómo se analiza este enfoque en ambientes dinámicos, obteniendo una comprensión más profunda del sistema para comunicarlo a las partes interesadas, ya que los seres humanos carecemos de la capacidad cognitiva para inferir comportamientos dinámicos consecuentes sin ayuda.

7. Bibliografía

- Alesina, A., Ardagna, S. & Trebbi, F. (2006). Who Adjusts and When? On the Political Economy of Reforms. NBER Working Paper, núm. 12049. *Washington: National Bureau of Economic Research (NBER)*.
- Andrade, H., Dyner, I., Espinosa, A., López, H., Sotaquirá, R. (2001). Pensamiento Sistémico: Diversidad en búsqueda de unidad. *Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga*.
- Aracil, J. (1986). Máquinas, sistemas y modelos: Un ensayo sobre sistémica, volume 282. Tecnos.
- Banco Mundial (BM) (2016, enero). Global Economic Prospects. Enero. Recuperado el 28 de agosto de 2020, de <http://www.worldbank.org/en/publication/global-economic-prospects>
- Barlas, Y. (1996). Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. *System Dynamics Review*, 3(12), 183–210
- Bernanke, B. (2004). *Essays on the Great Depression*. Princeton: Princeton University Press.
- Calida, B.Y. & Katina, P.F. (2015). Modelling the 2008 financial economic crisis: triggers, perspectives and implications from systems dynamics, *Int. J. System of Systems Engineering*, Vol. 6, No. 4, pp.273–301.
- Davidson, P. (2012). Is Economics a Science? Should Economics be Rigorous? *Real-world Economics Review*, (59), 58-66.
- Financial Crisis Inquiry Commission (FCIC). (2011). *The Financial Crisis Inquiry Report*. Washington: Gobierno de Estados Unidos.
- Forrester, J. (1961). *Industrial Dynamics*. MIT press Cambridge, MA.

- Forrester, J. (1971). *World dynamics*. Wright-Allen Press Cambridge, MA.
- Forrester, J. (1992). Policies, decisions and information sources for modeling. *European Journal of Operational Research*, 59 (1), 42–63.
- Forrester, J. & Collins, J. (1969). *Urban dynamics*. MIT Press Cambridge, MA.
- Galbraith, J. K. (2010). *The Affluent Society & Other Writings, 1952-1967: American Capitalism. The Great Crash, 1929. The Affluent Society. The New Industrial State*. Nueva York: Penguin Group USA.
- Georgiadis, P. (2013). An integrated system dynamics model for strategic capacity planning in closed-loop recycling networks: A dynamic analysis for the paper industry. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 32, 116–137. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2012.11.009>
- Georgiadis, P., & Michaloudis, C. (2012). Real-time production planning and control system for job-shop manufacturing: A system dynamics analysis. *European Journal of Operational Research*, 216(1), 94–104. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.07.022>
- González-Busto, B. (1998). La Dinámica de Sistemas como Metodología para la elaboración de Modelos de Simulación, 41. Retrieved from www.gestiopolis.com/.../metodologiadinamica.htm
- Greenspan, A. (1998). Testimony of Chairman Alan Greenspan. The Regulation of OTC Derivative. Comité sobre Servicios Bancarios y Financieros del Congreso de Estados Unidos, testimonio presentado el 24 de julio.
- Izquierdo, L., Galán, J., Santos, J., & Del Olmo, R. (2008). Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas. *Red Científica*, 20(1), 46–66. <https://doi.org/2017-01-18>
- Kaletsky, A. (2009). Goodbye, Homo Economicus. *Prospect Magazine*. Recuperado el 28 de agosto de 2020, de <https://www.prospectmagazine.co.uk/magazine/goodbyehomeoeconomicus>
- Korinek, A. (2015). Matching the Moment, But Missing the Point? *Institute for New Economic thinking (INET)*. Recuperado el 28 de agosto de 2020, de <https://www.ineteconomics.org/perspectives/blog/matching-the-moment-but-missing-the-poin>

- Krugman, P. (2009b). How Did Economists Get It So Wrong? *The New York Times Magazine*, Septiembre 2 de 2009. Recuperado el 28 de agosto de 2020, de <http://www.nytimes.com/2009/09/06/magazine/06Economic-t.html?mcubz=0>
- Lipton, M. (1992). The State-market Dilemma, Civil Society, and Structural Adjustment. Any Cross-commonWEAlth Lessons? *The Round Table*, 80(317), 21-31.
- Lucas, R. (2003). Macroeconomic Priorities. *American Economic Review*, 93(1), 1-14.
- Lucas, R. & Sargent, T. (1979). After Keynesian Macroeconomics. *Federal Reserve Bank of Minneapolis Quarterly Review*, 3(2), 1-16.
- Lynn, S. (2003). *Economic Development: Theory and Practice for a Divided World. Nueva Jersey: Prentice Hall.*
- Marchionatti, R. & Sella, L. (2015). Is Neo-Walrasian Macroeconomics a Dead End? CESMEP Working Paper 21/2015. *Torino: Centro di Studi sulla Storia e I Metodi dell'Economia Politica "Claudio Napoleoni"*.
- Minsky, H. (2008 [1986]). *Stabilizing an Unstable Economy*. Nueva York: McGraw-Hill Professional.
- Morecroft, J. (1983). System dynamics: Portraying bounded rationality. *Omega*, 11 (2), 131–142.
- Morecroft, J. (1985). Rationality in the analysis of behavioral simulation models. *Management Science*, 31 (7), 900–916.
- Müller, M. O., Kaufmann-Hayoz, R., Schwaninger, M., & Ulli-Ber, S. (2013). The diffusion of eco-technologies: A model-based theory. *Understanding Complex Systems*, 49–67. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8606-0-4>
- Quiggin, J. (2010). *Zombie Economics: How Dead Ideas Still Walk Among Us. Princeton: Princeton University Press.*
- Scott, M. (1991). *A New View of Economic Growth. Oxford: Oxford, University Press.*
- Sterman, J. (1987). Testing behavioral simulation models by direct experiment. *Management Science*, 1572–1592.

- Sterman, J. (1989). Misperceptions of feedback in dynamic decision making. *Organizational behavior and Human Decision Processes*, 43 (3), 301–335.
- Sterman, J. (2000). *Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world with CD-ROM*. Irwin/McGraw-Hill.
- Stigler, G. (1982a). The Process and Progress in Economics. *Conferencia de aceptación del Premio Nobel*. Recuperado el 28 de agosto de 2020, de <http://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.1086/261165>.
- Stiglitz, J. (1991). The Invisible Hand and Modern Welfare Economics. Working Paper No. 3641. *Washington: National Bureau of Economic Research (NBER)*.
- Stiglitz, J. (2009). The Anatomy of a Murder: Who Killed America's Economy? *Critical Review*, 21(2-3).
- Stock, J. H. & Watson, M. (2002). Has the Business Cycle Changed and Why? *NBER Macroeconomics Annual*. Recuperado el 29 de agosto de 2020, de <http://www.nber.org/papers/w9127>
- Sweeney, L. & Sterman, J. (2000). Bathtub dynamics: initial results of a systems thinking inventory. *System Dynamics Review*, 16 (4), 249–286.
- System Dynamics Society (2010). *System dynamics society*.
- Van Eck, N. J.; Waltman L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84, 523-538. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Vlachos, D., Georgiadis, P., & Iakovou, E. (2007). A system dynamics model for dynamic capacity planning of remanufacturing in closed-loop supply chains. *Computers and Operations Research*, 34(2), 367–394. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2005.03.005>
- Wolstenholme, E. (2003). The use of system dynamics as a tool for intermediate level technology evaluation: three case studies. *Journal of Engineering and Technology Management*, 20 (3), 193–204.