

UACM

Universidad Autónoma
de la Ciudad de México

NADA HUMANO ME ES AJENO

COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES

MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

Conclusiones a partir de modelos que asocian a la web con la desistencia y la formación escolar

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

PRESENTA

Imanol Garnelo Pérez

Directo de la Tesis

Dr. Carlos Islas Moreno

Ciudad de México, julio del 2024.

SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

DERECHOS RESERVADOS ©

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

Agradecimientos

Primero, queremos expresar nuestro agradecimiento a las instituciones que contribuyeron a la realización de este proyecto de investigación. En particular, extendemos nuestro reconocimiento a la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM) por su apoyo fundamental. Además, agradecemos al CONAHCYT por su respaldo financiero, que hizo posible llevar a cabo esta investigación. También queremos reconocer el apoyo brindado por la Maestría en Ciencias de la Complejidad, así como expresar nuestra gratitud a nuestros amigos y familiares por su constante aliento y apoyo.

Resumen

En este resumen, se integra el siguiente fragmento rescatado del artículo previamente publicado por mi autoría (1).

En este proyecto de investigación se propone un diseño transversal, descriptivo y no experimental, que emplea una metodología basada en representaciones de sistemas dinámicos lineales y no lineales. Se enfoca en aspectos cualitativos y utiliza herramientas de modelado de las ciencias de la complejidad y simulación computacional, específicamente mediante el uso de multiagentes.

El proyecto está abierto a enfoques mixtos y exposiciones cuantitativas, con el propósito de comprobar hipótesis relacionadas con el fenómeno del aprendizaje y su relación con el uso de plataformas digitales. Se busca contextualizar este fenómeno como un aspecto social relevante en el siglo actual, considerando las contribuciones de la teoría de sistemas complejos, teoría de redes y modelado basado en agentes.

El objetivo es integrar estos enfoques para explorar posibles respuestas, especialmente utilizando herramientas matemáticas, a preguntas sobre la adquisición de conocimientos mediante tecnologías digitales. Se busca analizar tanto los beneficios como las desventajas de estas herramientas, y cómo influyen en el comportamiento de diferentes poblaciones.

Palabras clave: Digital, modelo, multiagentes

Abstract

In this abstract, the following excerpt from the previously published article authored by me is integrated (1).

In this research project, a cross-sectional, descriptive, non-experimental research design is proposed, employing a methodology based on representations of linear and nonlinear dynamic systems. It focuses on qualitative aspects and utilizes modeling tools from complexity sciences and computational simulation, specifically through the use of multi-agent systems.

The project is open to mixed approaches and quantitative presentations, with the purpose of testing hypotheses related to the phenomenon of learning and its relationship with the use of digital platforms. The aim is to contextualize this phenomenon as a relevant social aspect in the current century, considering contributions from complexity theory, network theory, and agent-based modeling.

The objective is to integrate these approaches to explore possible answers, particularly using mathematical tools, to questions about knowledge acquisition through digital technologies. The analysis seeks to examine both the benefits and disadvantages of these tools and how they influence the behavior of different populations.

Keywords: Digital, model, multi-agent

Índice general

1. Preliminares	3
1.1. Antecedentes	4
1.1.1. Definición del problema	6
1.1.2. Justificación	7
1.1.3. Objetivos	9
1.2. Sistemas	9
1.2.1. Sistemas (Dinámicos)	11
1.2.2. El concepto de una ecuación diferencial y sus aplicaciones	11
1.2.3. Características de las ecuaciones diferenciales	12
1.2.4. Solución	12
1.2.5. Condiciones iniciales o de contorno	12
1.2.6. Tipos de ecuaciones diferenciales	12
1.3. Multiagentes	13
1.3.1. Autómatas celulares	14
1.4. Teorías de grafos	15
2. Complejidad y la deserción escolar	19
2.1. Las ciencias sociales y la modelación	19
2.2. Hasta dónde alcanza las conclusiones de los modelos	25
2.3. La Teoría de la complejidad	28
2.4. Complejidad y la web como contenido	32
2.5. La brecha digital como factor de deserción	35
3. Análisis del modelo de la deserción	39
3.1. Poblaciones del Modelo	39
3.2. Modelo o sistema depredador-presa	40
3.2.1. Modelo logístico	47
3.3. Diagrama de flujo y supuestos	53
3.4. Análisis del modelo	54
3.5. Análisis de sensibilidad para el primer sistema de EDO.	61
3.6. Sistema de EDO para tres poblaciones.	62
3.6.1. Análisis del Modelo para otro nuevo sistema de EDO de tres poblaciones	65

3.7. Análisis de sensibilidad de otro sistema de ecuaciones diferenciales de dos poblaciones	69
3.8. Soluciones numéricas	70
4. Análisis del modelo de la deserción	79
4.1. Coeficiente de clustering (C) y simulado	85
4.1.1. Coeficiente de agrupamiento local promedio	88
5. Descripción del modelo de simulación en NetLogo	89
5.0.1. Explicación del Código en NetLogo	94
5.1. Segunda modelacion en NetLogo.	94
5.1.1. Modelado de la dinámica social con NetLogo	95
5.1.2. Inicialización	96
5.1.3. Creación de población	96
5.1.4. Funciones de cambio de estado	97
5.1.5. Iteración principal	98
5.1.6. Actualización de porcentajes máximos y mínimos	99
5.1.7. Creación de nuevos individuos	99
5.1.8. Deserción	99
5.1.9. Deserción con brecha	99
5.1.10. Movimiento	99
5.1.11. Conexiones	100
5.1.12. Cálculo de agrupamientos	101
6. Resultados	103
7. Conclusiones	105
Bibliografía	107
Apéndice	109
1. Comando para graficar el sistema depredador-presa(en python)	109
2. Comando solución de los depredadores(en python)	111
3. Modelo de educación y social media	112

Índice de figuras

1.1. Grafo de 4 vértices conectados	17
3.1. Solución modelo depredador-presa	42
3.2. Soluciones del modelo depredador-presa	43
3.3. Solución en relación al depredador	46
3.4. Solución en relación al grupo de sin brecha digital (presa)	47
3.5. Diagrama de bifurcación de la constante (C)	51
3.6. Diagrama de flujo para dos poblaciones	54
3.7. Solución en relación a la disminución de la agrupación de brecha digital por la interacción de su población que no tiene brecha digital	58
3.8. Solución en relación a la disminución de la agrupación de brecha digital por la interacción de su población que no tiene brecha digital variando el parámetro γ	60
3.9. Diagrama de flujo para tres poblaciones	63
3.10. Gráfica tridimensional de tres poblaciones	64
3.11. Representación gráfica del crecimiento de la población brecha digital y sin brecha digital.	71
3.12. Representación gráfica del crecimiento de la población brecha digital y sin brecha digital sin coeficientes de abandono escolar	72
3.13. Representación gráfica del crecimiento de la población brecha digital y sin brecha digital donde el coeficiente alfa varia.	73
3.14. Representación gráfica del crecimiento de la población brecha digital y sin brecha digital, variando los parámetros de beta	74
3.15. Representación gráfica del crecimiento de la población brecha digital y sin brecha digital, variando el parámetro gamma	76
3.16. Representación gráfica del crecimiento de la población brecha digital y sin brecha digital, variando los tres parámetros	77
4.1. Red ponderada.	81
4.2. Red disconexa.	81
4.3. Ejemplo de una red.	83
4.4. Redes de las dos poblaciones.	84
4.5. Representación en forma de colores de nodos de la diversidad de grupos que pueden realizarse y existir.	84

5.1. Población de los que sufren brecha digital en contraposición con los que no sufren de este.	90
5.2. Empieza a haber exclusión, atendiendo a una lógica congruente al sistema depredador-presa.	91
5.3. La exclusión cada vez es mayor generando deserción.	92
5.4. Una de las simulación finales.	93
5.5. Población de los que sufren brecha digital forman redes con los semejantes a el con pesos en contraposición con los que no sufren de este.	93
5.6. Sistema de agentes con las tres poblaciones.	97
5.7. Sistema de agentes con variacion en las tres poblaciones.	97
5.8. Hay sobrepoblacion en la simulación	98
5.9. Porcentajes	99
5.10. Deserción escolar por otros factores que no son la brecha digital directamente	100
5.11. Formación de grupos donde no se muestra su valor de interacción.	100
5.12. Formación de grupos donde se muestra su valor de interacción (El grado de las gráficas en la red)	101

Introducción

*En esta introducción, se integra el siguiente fragmento rescatado del artículo previamente publicado por mi autoría (1).

Esta tesis se enfoca en una anomalía que emana de una serie de reflexiones sobre nuestra modernidad, que es el origen y desarrollo del fenómeno del aprendizaje, no solo con un sentido meramente ortodoxo, sino asociado a un contexto que se ha convertido en una realidad consumada: la digitalización de la cotidianeidad. Un ejemplo de esto es la coerción con herramientas tecnológicas y de digitalización que son vitales para nuestra educación y esenciales para nuestro desarrollo en esta era. Sin embargo, como analizaremos en este proyecto, estas mismas dependencias en el mundo virtual se integrarán con problemas que afectan a ciertos sectores de la sociedad, como el surgimiento de lo que llamaremos la "brecha digital", factores que producirán aspectos de deserción y acoso bajo un marco de competencias, que serán feroces en el sentido de la prevalencia del más fuerte y que resultarán en una imagen de sociedades desiguales.

Para ello, en primer lugar, se realiza una recapitulación del contenido de este trabajo para proporcionar una mejor contextualización del problema. En el capítulo de Introducción se abordan cuestiones más centradas en la construcción metodológica, delimitando la problemática e infiriendo en los objetivos y supuestos, con el fin de construir una lógica que nos permita no solo acercarnos al objeto de estudio, sino también especular sobre las dinámicas de formas científicas más adecuadas para abordar dichas discusiones. En el capítulo 2 se definen conceptos como medios de comunicación, la web, la modelación, así como la propia deserción (escolar), retomando sentidos más epistemológicos y fenomenológicos. Finalmente, en los capítulos 3, 4 y 5 se lleva a cabo una integración con herramientas y ejes de análisis con hermenéuticas nacidas y desarrolladas por los sistemas complejos, con el objetivo de generar representaciones, explicaciones y posibles soluciones al fenómeno de

*Este trabajo de investigación es una continuación en acompañamiento a una serie de esfuerzos en función del seguimiento teórico así como práctico de hechos conocidos como la digitalización de la vida cotidiana en relación a dar una secuencia de fundamentos con integración a través de un campo de los sistemas complejos y su vasta variedad de herramientas para abordar distintas dinámicas desde físicas, biológicas y en este caso, sociales.

la digitalización como una forma homogénea de lo social, pero que también causará heterogeneidad entre los grupos. Por último, en los capítulos 6 y 7 se presentan las reflexiones finales de este proyecto.

Capítulo 1

Preliminares

En este apartado de preliminares, antecedentes y definición del problema, se integran los siguientes fragmentos rescatados del artículo previamente publicado por mi autoría (1).

La adquisición de nuevos conocimientos y habilidades, así como los efectos que los medios digitales pueden tener sobre la sociedad, han sido abordados desde diversas perspectivas teóricas y metodológicas. Esto se hace con el objetivo de ofrecer una respuesta clara sobre si el consumo de contenido en la web afecta nuestra forma de interactuar y relacionarnos socialmente con los demás. Este proceso se ha desarrollado como parte de una didáctica orientada hacia un trato armonioso y saludable con nuestro entorno, generando una mayor complejidad en el análisis de la información y estimulando diferentes procesos cognitivos en el contexto actual, donde lo digital y la web han sido fundamentales para reconstruir un enfoque de aprendizaje más multidisciplinario y menos convencional. Se ha demostrado que la web ofrece una amplia variedad de ejercicios y funcionalidades que fomentan el interés, el desarrollo y una mayor profundidad en el razonamiento, incluso desde edades tempranas.

Es dentro de este contexto que considero apropiado explorar una posible reciprocidad entre el discurso de diversas teorías asociadas con los procesos complejos. Explorar disciplinas como la teoría de la información, la autoorganización, la teoría de autómatas, las redes de mundo pequeño y otras áreas similares puede proporcionar nuevas herramientas para comprender y abordar fenómenos sociales contemporáneos. Esto incluye la difusión de información en redes sociales, la emergencia de estructuras comunitarias en línea y la autoorganización de movimientos sociales, aprovechando la topología inherente y otros principios relevantes..

1.1. Antecedentes

El estudio de la relación entre el consumo de contenidos digitales y el proceso de aprendizaje, en términos de adquirir nuevos conocimientos, ha sido abordado desde diversas perspectivas teóricas y metodológicas. El objetivo es dilucidar una respuesta clara sobre la relación entre estas dos variables, entendidas como la obtención de nueva información a través de la interacción con la web y dispositivos de comunicación. Se busca confirmar si el entendimiento de que los medios de comunicación y la web han generado nuevas formas de aprendizaje más complejas, debido a la naturalización y condicionamiento que el ser humano ha experimentado a lo largo del tiempo con respecto a estas tecnologías.

En este sentido, citando el libro de psicología social mencionado en el subtema titulado “El papel del conocimiento previo en el procesamiento de la información” (2, p. 128), se señala: “Recordemos que la Primera Hipótesis de la Cognición social a la que aludíamos, y que nos disponemos a desarrollar en este apartado, es que las conductas humanas no son respuestas al medio, sino el resultado de una interacción, asociación e integración entre la información nueva y el conocimiento previo” (2, p. 128).

En esta contextualización, se destaca que la información nueva no solo está en constante cambio, sino que también abarca matices y temas con enfoques más profundos. Esto refleja una necesidad de adaptarse a un mundo que demanda enseñanzas y, al mismo tiempo, impulsa el desarrollo de competencias innovadoras en relación con nuevas formas de interacción social y laboral. En este contexto, la tecnología emerge como un componente fundamental en los procesos actuales de construcción de conocimiento.

Siguiendo esta línea de pensamiento, según (3) en su trabajo titulado “Escuela y comunidad: Observaciones desde la teoría de sistemas sociales complejos”, se subraya:

Al analizarse los sistemas complejos se producen como una unidad que se diferencia de lo que queda por fuera, el entorno. Como estas observaciones son producidas por los sistemas, se dice que son autopoieticos y autorreferentes, es decir, que se producen con respecto a sí mismos y no bajo las influencias del ambiente. Esto no quiere decir que estén cerrados al entorno. Los sistemas complejos no se “adaptan” ni se orientan en forma puntual al entorno, sino de forma estructural. Su estructura y todo lo que producen está orientado de tal forma para poder distinguir lo propio del sistema del entorno. (Luhmann, 1991; Luhmann y

De Georgi, 1993) (3).

Los medios de comunicación juegan un papel vital en el complejo entramado que constituye el sistema educativo, especialmente en el contexto del método mexicano. Este sistema no opera de manera aislada, sino que está intrínsecamente ligado a diversos aspectos culturales, sociales, organizacionales y comunitarios. Esta interacción constante demuestra que el sistema educativo es una parte integral de un sistema definido como complejo, donde múltiples componentes interactúan y se influyen mutuamente, incluyendo los medios de comunicación y las nuevas tecnologías.

Cuando analizamos la relación entre el sistema educativo y los medios de comunicación, es esencial recurrir a obras como "Comprender los medios de comunicación" de Marshall McLuhan. Esta fuente ofrece una perspectiva histórica y contextual sobre las invenciones mediáticas más significativas, destacando su impacto en el desarrollo humano a lo largo del tiempo. Cada medio de comunicación, desde la imprenta hasta las redes sociales, ha desempeñado un papel fundamental en la difusión de información, ideas y valores, adaptándose a las necesidades y contextos cambiantes de la sociedad.

En su conjunto, los medios de comunicación desempeñan una función crucial en el desarrollo de los individuos a través de sus contenidos. McLuhan identifica dos aspectos clave para comprender este fenómeno: la línea epistemológica que guía al autor, que proporciona la base para su filosofía en relación con la investigación de los "social media", y la identificación de los principales medios creados por la humanidad para comunicarse, teniendo en cuenta el contexto histórico y los objetivos para los cuales fueron concebidos.

Definir lo que se entiende por medios de comunicación, también conocidos como mass media o social media, implica considerar estas herramientas como dispositivos utilizados para transmitir información, ideas o mensajes entre individuos o grupos.

McLuhan examina los mandatos dictatoriales de dos revoluciones tecnológicas que derrocaron sendos órdenes políticos y estéticos establecidos: la invención de la imprenta con tipo móvil, a mediados del siglo XV, que animó a la gente a pensar siguiendo líneas rectas y a ordenar sus percepciones del mundo en formas compatibles con el orden visual de la página impresa; y, desde finales del siglo XIX, las nuevas aplicaciones de la electricidad (el telégrafo, el teléfono, la televisión, los ordenadores, etc.), que enseñaron a la gente a reordenar sus percepciones del mundo en formas compatibles con el protocolo del ciberespacio. El contenido sigue a la forma, y las tecnologías incipientes dieron lugar a nuevas estructuras de pensamiento y sentimiento (4, p. 11).

Efectivamente, la tecnología asociada a los medios de comunicación da forma al pensamiento humano, su razonamiento y su interacción en el contexto social. Por esta razón, los medios de comunicación, ejemplificados por la imprenta, la radio, la televisión y, en la era moderna, por la web y las herramientas de inteligencia artificial, son fundamentales en la identificación, obtención, razonamiento y procesamiento de la información, así como en la absorción de conocimientos, habilidades, aptitudes y aprendizajes. En un mundo donde siempre estamos conectados, estamos constantemente inmersos en este proceso con implicaciones sociales.

En esta reflexión, profundizo en la comprensión y el análisis de la relación entre el sistema educativo y los medios de comunicación, así como su interacción con las nuevas tecnologías, en consonancia con las nuevas formas de aprendizaje que surgen en el mundo digital contemporáneo. Estas formas de aprendizaje se adaptan a las necesidades actuales para comprender ciertos contenidos modernos que se encuentran en un entorno digital donde emergen y evolucionan los medios de comunicación de nuestro siglo.

Desde mi enfoque y postura, el fenómeno de la educación no se aborda simplemente como una estructura uniforme e integradora de otras, sino más bien como un sistema social con propiedades complejas. Por lo tanto, propongo analizar estos hechos desde un nuevo enfoque epistemológico y metodológico.

1.1.1. Definición del problema

El problema para investigar puede ser enunciado a través del siguiente cuestionamiento, explicado a continuación; ¿El consumo de contenidos digitales en los medios de comunica-

ción y en la web tienen una asociación palpable en el proceso de la obtención de la información y de nuevos conocimientos, esto desde un análisis del sistema educativo en base a un modelización de orden matemático y de una simulación computacional con multiagentes con el fin de representar la dinámica de poblaciones las cuales sufren del anómalo entendido como brecha digital y de sus consecuencias?

Supuestos 1- El consumo de contenidos en los medios de comunicación digitales y en la web, tiene una conexión y una causalidad al devenir de nuevos conocimientos así como de aprendizajes, por lo mismo son herramientas muy valiosas para la didáctica, es por ello que el haber una diferenciación a través de su uso cotidiano es fundamental para la no integración o nula cohesión de grupos que no conciben con estas herramientas por distintas razones, así como de su exclusión. Es posible llegar a esta afirmación a través del modelamiento matemático desde la teoría ya mencionada de multiagentes, al igual que de otros recursos.

Supuestos 2 .- La asociación entre la manifestación de nuevos aprendizajes y conocimientos y la web no existen o es nula y verdaderamente el consumo de contenidos digitales dentro de los medios de comunicación nuevos y ortodoxos, como la misma web, no producen nuevas habilidades en ecuanimidad a nuevas formas de recolección y procesamiento de la información en las personas que son inmersas a este tipo de experiencias, llegando a la conclusión de que el hecho de la brecha digital o no existe o se mantiene como un concepto teórico sin aplicaciones dentro de la realidad convencional.

1.1.2. Justificación

En esta sección de la propuesta de investigación, expondré algunas razones que considero importantes, no solo para este proyecto de indagación en particular, sino también para argumentar de manera crítica la posible asociación entre el avance tecnológico y los nuevos medios electrónicos y comunicativos, y los procesos de aprendizaje, absorción e introspección de conocimientos, habilidades y aptitudes. Esto se plantea con el objetivo de contribuir al desarrollo profesional, académico, escolar, emocional y personal de los individuos de manera evolutiva y positiva. Para respaldar esta afirmación, recurriré a una cita del artículo titulado “Muro colaborativo: ¿Aplicación web necesaria para mejorar las condiciones de enseñanza-aprendizaje en la Facultad de Psicología?”, donde se evidencia la relación entre los medios de comunicación y la asimilación de nueva información en países

de Sudamérica, como Argentina (5).

”Diversos autores (p. ej., Borgobello et al., 2019; Castro y González-Palta, 2016; Pérez-Agüero, 2020; Suárez-Cretton, Castro-Méndez, y Muñoz Vilches, 2020) han utilizado las Tecnologías de la Información y Comunicación (TICs) en el campo de la Psicología con la finalidad de mejorar las condiciones de enseñanza-aprendizaje. En Argentina, los docentes de la Facultad de Psicología utilizaron Facebook y WhatsApp para facilitar la comunicación entre los participantes del proceso educativo en cualquier momento y lugar (Borgobello et al., 2019). Asimismo, el uso de las plataformas educativas facilitó la participación de los estudiantes y realización de las actividades escolares dentro y fuera del salón de clases (Borgobello et al., 2019). En Chile, los estudiantes de la carrera de Psicología utilizaron Facebook para facilitar la asimilación del conocimiento en la asignatura Teorías de la Personalidad (Castro y González-Palta, 2016). De hecho, esta red social facilitó el desarrollo del pensamiento crítico y mejoró la comunicación entre los estudiantes y el docente (Castro y González-Palta, 2016). Del mismo modo, los estudiantes de las universidades públicas y privadas en Chile consideran que las TICs tienen un papel primordial en el proceso de enseñanza-aprendizaje sobre la Psicología (Ossa et al, 2019). De hecho, los docentes utilizaron las TICs como herramientas de apoyo para mejorar el rendimiento académico de los estudiantes (Ossa et al, 2019). Los avances tecnológicos como las plataformas web están transformando la interacción entre los contenidos de los cursos, estudiantes y docentes en el campo de la Psicología. (Pérez-Agüero, 2020)”(5).

Considero de este modo dentro de la indagación que las nuevas tecnologías enmarcadas en novedosos medios de comunicación, sobre todo dentro de la web, son (su forma de acción) dentro de la realidad convencional importantes en la forma de aprender de manera más didáctica y profunda acerca de nuevos hechos ocurrentes en una sociedad que se encuentra siempre en un estado vertiginoso y cambiante. Es en ese sentido que la propuesta para este proyecto de indagación es el sustentar, lo que de manera teórica se acaba de afirmar. Dentro de este proyecto, se busca otorgar una importancia significativa a los procesos comunicativos en nuestra vida diaria, considerándolos como la pieza angular en nuestras interacciones y reconociendo que continúan generando interrogantes importantes. Se pretende explorar, en el contexto de la sociedad mexicana, la relevancia de las innovaciones

tecnológicas en relación con las nuevas formas de aprendizaje, así como sus diversos desarrollos en distintos contextos y entornos sociales. Se plantea la posibilidad de observar y reflexionar sobre esta asociación en el marco del complejo sistema educativo, con miras a que en el futuro se considere la inclusión e integración de las nuevas tecnologías en los esquemas y metodologías didácticas.

1.1.3. Objetivos

Este proyecto sustenta, así como observa, que sí existe una asociación causal con conexión a la obtención de nueva información en alianza con el desarrollo de recientes habilidades en los contenidos digitales y electrónicos dentro de los medios de comunicación como la web produciendo hechos de exclusión, entre poblaciones digitalizadas y las que no desarrollan este hecho de capacidades en base a su uso tecnológico. Se propone abordar este fenómeno mediante plataformas y programas en NetLogo, lo que permitirá un análisis más detallado de las dinámicas y efectos de estas disparidades en diferentes contextos educativos y sociales.

1.2. Sistemas

Partiendo de las explicaciones previas en este escrito y centrándonos en perspectivas sociales y humanitarias, propongo la incorporación de definiciones dentro del ámbito de las ciencias de la complejidad para iniciar el desarrollo del tema en cuestión en el contexto de los sistemas complejos. Como introducción, definiré el concepto de sistema y su importancia inicialmente, basándome en las reflexiones presentadas en el siguiente texto (6).

El análisis de todo proceso real comienza con la selección de un conjunto de elementos o partes de la realidad, operativamente interactivos, del que se quiere conocer su comportamiento global. Esta porción del mundo que interesa se conoce con el nombre de sistema. Este concepto se aplica a cualquier ámbito del saber por lo que así se habla, no sólo de sistemas físicos, químicos o biológicos, sino también de un sistema económico o financiero, de un ecosistema, de un sistema lingüístico, etc. (6).

Una vez más, retomando esta serie de argumentos que definen un sistema como un conjunto de componentes o aspectos de la realidad que se integran e interactúan para formar una totalidad, nos adentraremos en el análisis del comportamiento de los hechos en forma grupal. Más que simplemente examinar el hecho a nivel individual, nuestra tesis se centra en considerar la totalidad de las partes para profundizar en estas observaciones. Siguiendo con esta línea de argumentación, continuaremos explorando lo que sigue a continuación en el texto:

El método que la ciencia emplea para el análisis y comprensión de esta pequeña ventana del universo, o sistema, consiste en construir un modelo. Con él se pretende explicar los acontecimientos presentes o pasados que afectan o han afectado al sistema y, lo que es más importante, al menos desde el punto de vista del método científico, el modelo ha de servir para predecir su comportamiento futuro. Por otra parte, que un modelo es también un sistema. Se trata de un sistema abstracto en el que los elementos que intervienen son variables y las relaciones entre ellas vienen expresadas mediante conjuntos de ecuaciones. Para que un sistema real pueda ser formalizado debe satisfacer una serie de requisitos cuya formulación precisa queda en manos de los teóricos de la ciencia. La construcción de un modelo formal que se ajuste "lo mejor posible" al sistema real en estudio es una tarea que conlleva una gran dificultad y, en cualquier caso, el resultado no es necesariamente único. Por ejemplo, en los complejos sistemas que aparecen en biología, sociología o economía (Lorenz 1997), donde el número de factores que intervienen puede ser del orden de miles o millones. (6)

En este contexto, comprendemos la uniformidad inherente al desarrollo de un sistema mediante el ejercicio de la modelación, utilizando diversas implementaciones de lógica matemática para alcanzar una variedad de objetivos. Estos objetivos van desde la predicción hasta la representación precisa de anomalías que surgen de la confrontación entre estas abstracciones y la realidad misma. Una vez entendido el significado de lo que denominamos sistema, así como su relación con la creación de modelos para abordar estos diversos conjuntos de factores, es el momento de adentrarnos en una tipificación particular de esta fundamentación, conocida como 'Sistemas dinámicos'.

1.2.1. Sistemas (Dinámicos)

Es importante destacar que, dentro de la amplia definición de un sistema, hemos optado por centrarnos en otra característica significativa: los sistemas dinámicos. El autor en (6) propone de manera óptima lo siguiente en relación con esta noción de sistema:

Para saber cómo evoluciona un sistema desde un estado inicial dado, se recurre a la dinámica (las ecuaciones del movimiento) que explica el movimiento, por incrementos, a lo largo de la secuencia cronológica de estados. Las herramientas matemáticas para estudiar los sistemas dinámicos son las ecuaciones diferenciales, que equivalen a un conjunto de formulas que conjuntamente expresan las tasas de cambio de las variables en función de los valores actuales de esas variables. Una solución completa contendrá expresiones que darán los valores de las variables en cualquier instante dado en función de los valores que tuvieron en cualquier instante anterior. (6)

Al hablar de un sistema dinámico, entendemos que esta etiqueta se refiere a la percepción y comprensión de ciertas divisiones de la realidad, definidas como sistemas. En este contexto, la dinámica de un sistema se refiere a su comportamiento o variación a lo largo del tiempo, debido a su volatilidad y que requiere el uso de herramientas matemáticas, como las ecuaciones diferenciales, para comprender y modelar estas singularidades.

1.2.2. El concepto de una ecuación diferencial y sus aplicaciones

En este contexto, es importante definir y destacar las aplicaciones de las ecuaciones diferenciales en la construcción de modelos. Estas ecuaciones son herramientas matemáticas fundamentales utilizadas para modelar una amplia gama de fenómenos en campos como la ciencia, la ingeniería y diversas disciplinas. En su forma más elemental, una ecuación diferencial establece una relación entre una función desconocida y sus derivadas. Formalmente, una ecuación diferencial es una igualdad que contiene una función y una o más de sus derivadas. Generalmente se escriben en la forma $F(x, y, y', y'', \dots, y^{(n)}) = 0$, donde x es la variable independiente, y es la función desconocida y $y', y'', \dots, y^{(n)}$ son sus derivadas de primer, segundo, hasta el n -ésimo orden, respectivamente (en (7, p. 2)).

1.2.3. Características de las ecuaciones diferenciales

Orden

El orden de una ecuación diferencial es la mayor derivada presente en la ecuación. Por ejemplo, una ecuación que involucra solo la primera derivada de una función desconocida es de primer orden, mientras que una que involucra la segunda derivada es de segundo orden, y así sucesivamente.

Linealidad

Una ecuación diferencial es lineal si puede expresarse como una suma de términos en los que la función desconocida y sus derivadas aparecen de manera lineal. Por ejemplo, la ecuación diferencial $y'' + 2xy' + y = 0$ es lineal, mientras que $y^2 + (y')^3 = x$ no lo es.

1.2.4. Solución

Una solución de una ecuación diferencial es una función que satisface la ecuación. Dependiendo del tipo de ecuación y las condiciones dadas, puede haber una solución única, múltiples soluciones o ninguna solución en absoluto (en (7, p. 19)).

1.2.5. Condiciones iniciales o de contorno

Para determinar una solución única a una ecuación diferencial, generalmente se necesitan condiciones iniciales o de contorno. Las condiciones iniciales son valores dados de la función desconocida y sus derivadas en un punto inicial, mientras que las condiciones de contorno son valores dados en la frontera del dominio de la función.

1.2.6. Tipos de ecuaciones diferenciales

Hay varios tipos especiales de ecuaciones diferenciales, como las ecuaciones diferenciales ordinarias (ODEs) y las ecuaciones en derivadas parciales (PDEs), que se utilizan para modelar fenómenos en una y varias dimensiones, respectivamente.

1.3. Multiagentes

Sin embargo, es importante ampliar nuestra hermenéutica más allá de la simple conceptualización de los sistemas. Dado que su aplicación es fundamental en el desarrollo de esta investigación, recurrimos a otro campo de estudio crucial y multifuncional: los sistemas multiagentes. Estos mecanismos son ampliamente utilizados en representaciones de procesos más amplios, como la inteligencia artificial y la optimización. En este contexto, los sistemas multiagentes se integran en la representación de colectividades, especialmente en relación con la internalización del conocimiento y la digitalización de las ciudades. Por lo tanto, es pertinente definir estos sistemas multiagentes para comprender mejor su papel en este contexto. Para ello, me referiré a la siguiente fuente (8):

(MAS) SISTEMAS MULTIAGENTE: En la década de 1990 se desarrolla una nueva aproximación dentro de la Inteligencia Artificial (IA): la llamada “IA distribuida”, “inteligencia social” o “de enjambre”. Mientras que el objetivo de la IA clásica fue imitar el funcionamiento del cerebro humano, la nueva IA distribuida pretende resolver los problemas a los que se enfrenta desarrollando entidades autónomas e interdependientes que generan “inteligencia colectiva” a partir de la interacción entre elementos simples. La aplicación de esta nueva perspectiva a la simulación social permite la creación de sistemas de interacción de numerosos agentes autónomos en cuanto a sus objetivos, así como con capacidades cognitivas y comunicativas ampliadas. Una definición conceptual de agente de software comúnmente aceptada es “un programa informático autocontenido que puede controlar sus propias acciones, basado en sus percepciones del entorno”. Se considera que los agentes son entidades AIRP, esto es: A) autónomos (pueden operar sin el control directo de humanos u otros agentes), I) interactivos (con habilidad social para relacionarse con su entorno y/o otros agentes), R) reactivos (perciben su entorno y responden en consecuencia), y P) proactivos (pueden tomar la iniciativa, con comportamiento basado en objetivos). Otras características propias de los agentes en sistemas MAS es que tienen: conocimiento local (perciben únicamente su entorno más próximo), percepción subjetiva y racionalidad limitada, capacidad de ser programados para simular procesos de adaptación, de aprendizaje, planificación sofisticada y lenguaje entre ellos. Los agentes pueden representar entidades individuales o colectivas humanas (grupos, familias, empresas, naciones, etc.), así como cualquier objeto físico animado o inanimado, e incluso es posible, y conveniente en determinadas investigaciones, modelizar como agentes ciertas entidades inmateriales como enunciados, creencias, deseos, normas, reglas de comportamiento, e incluso vínculos entre agentes. (8)

Dentro del marco de lo que podría entenderse como un sistema multiagente, se destacan una serie de características fundamentales para su desarrollo, las cuales surgen de la interacción entre sus elementos. Estas características incluyen la autonomía, la reactividad, la proactividad y el conocimiento local, entre otras.

Inicialmente concebido como una función focalizada en la simulación de procesos que reflejan el funcionamiento del cerebro, como el aprendizaje, el concepto de sistemas multiagentes ha evolucionado. Ahora se percibe como una colección de herramientas computacionales que pueden aplicarse de manera diversa, incluyendo la representación y construcción de sociedades artificiales. Estas herramientas encuentran utilidad en la comprensión y explicación de diversos fenómenos, incluyendo los que tienen lugar en las grandes metrópolis, donde estos sistemas multiagentes pueden asociarse con el propósito de analizar y abordar los desafíos urbanos contemporáneos.

1.3.1. Autómatas celulares

En congruencia con este ámbito, es pertinente mencionar como preludeo una introducción a lo que se conoce como “Autómatas Celulares”, un recurso igualmente relevante en el contexto de la simulación computacional. Dentro de esta investigación, se proporcionarán ciertas aclaraciones sobre este tema con el objetivo de enriquecer aún más esta sección y ofrecer antecedentes pertinentes en el ámbito del modelado matemático. Para este propósito, volveremos al texto previamente citado, el cual nos brindará las siguientes reflexiones (8):

(CA) AUTÓMATAS CELULARES: Un espacio matemático (p.ej., una cuadrícula regular) donde cada célula posee, en cada momento, un estado discreto seleccionado de entre un número finito de estados posibles permite simular diversos fenómenos sociales. En un CA cada célula tiene una “vecindad” constituida por un conjunto finito de células en su cercanía inmediata y tiene igualmente “conciencia” del estado propio y de cada una de sus células vecinas. Tras iniciarse la simulación, para cada paso discreto de tiempo, el estado de cada célula se actualiza mediante una función de transición basada únicamente en el estado actual de la célula y el de sus vecinas. El ejemplo clásico de esta técnica de simulación es el llamado “juego de la vida” de Conway en el que cuatro reglas de comportamiento muy simples gobiernan un sistema de autómatas celulares que simula un complejo comportamiento agregado similar a la vida de una sociedad

de organismos complejos que interaccionan entre sí (8).

En este sentido, los autómatas celulares representan una idealización similar a un juego, donde ciertos patrones de acciones se formalizan para simular diversas dinámicas. Gracias a la complejización del uso de software, estos autómatas pueden representar de manera más precisa y cercana fenómenos que, inicialmente, podrían considerarse muy complejos o con alteraciones significativas. Por lo tanto, son herramientas muy valiosas en el estudio y la predicción de procesos en entornos que presentan características profundas o cambios importantes.

1.4. Teorías de grafos

En última instancia, en este proceso de integración de teorías y campos de estudio, resulta innegable para el desarrollo de esta investigación el explorar y recurrir, desde un principio, a otras disciplinas que han contribuido a la construcción de nuestro modelo en torno a la reflexión sobre la brecha digital como un factor determinante en los procesos de aprendizaje y en el estudio de los fenómenos de la vida en grupo. Para ello, propondremos inicialmente una descripción de la teoría de grafos, una herramienta esquemática fundamental en nuestro enfoque. A este respecto, citaremos la siguiente fuente (9), la cual servirá de base para nuestra argumentación en la siguiente secuencia:

La teoría de los grafos es una de las áreas de la Matemática cuyo desarrollo ha estado siempre motivado por sus aplicaciones. Así, el primer artículo conocido sobre la misma fue escrito por Euler y publicado en 1736 para dar solución al célebre problema de «los puentes de Königsberg». La situación era la siguiente: ¿Es posible encontrar una ruta en la ciudad que recorra los siete puentes, comenzando cada uno de ellos una sola vez y regresando al punto de partida? Euler demostró que no era posible. Así surgió el concepto de grafo euleriano que, informalmente hablando, es «aquel grafo que puede ser dibujado sin levantar el lápiz del papel, sin pasar dos veces por la misma línea y acabando en el punto de partida». A partir de tal fecha muchos matemáticos importantes han realizado contribuciones. En los siglos XVIII y XIX se puede citar a Euler, Vandermonde, Cauchy, Cayley, Hamilton, Kempe, Tait, Heawood, Kirchoff y Petersen, entre otros. Durante este siglo, los estudios en este terreno no han cesado y otro hito en la historia de la Teoría de los Grafos fue la aparición en 1936 del primer texto

sobre este tópico escrito por D. König (1936). Desde sus orígenes, la Teoría de los Grafos se utilizó para la resolución de juegos matemáticos, para el estudio de circuitos eléctricos y en diversas aplicaciones en una multitud de campos (9).

Para comprender la importancia del concepto de grafo, es crucial reconocer su origen en el ámbito matemático y su relevancia en la multidisciplinariedad. Los grafos, aunque surgidos en un contexto matemático, ofrecen ventajas que trascienden distintas áreas del conocimiento humano y científico.

Definir un grafo nos lleva a una percepción más abstracta, pero también más precisa, de la estructura de elementos interconectados. Esta definición no solo nos proporciona un marco matemático, sino que también nos acerca a una comprensión más profunda de las relaciones jerárquicas presentes en la sociedad y en diversos campos de estudio.

Para esta definición, recurriremos nuevamente a las palabras del texto citado anteriormente (9), que nos ofrecen una perspectiva matizada y completa sobre este concepto. A continuación, presentaremos las palabras extraídas de la misma fuente para ilustrar la naturaleza de un grafo en nuestro contexto de investigación;

Los grafos pueden ser considerados formalmente como diagramas o dibujos (representación esquemática), o bien algebraicamente como un par de conjuntos (representación algebraica). Definición geométrica Geométricamente, un grafo G es un conjunto de puntos en el espacio, algunos de los cuales están unidos entre sí mediante líneas (9).

Y su definición algebraica: Un grafo G es un conjunto de puntos y de líneas conectando algunas parejas de puntos, lo cual puede ser representado de manera explícita como $G = (V, E) = (v(G), E(G))$. Esta definición nos proporciona una visión muy intuitiva del concepto de grafo. Si queremos formalizar el concepto de grafo, debemos recurrir al álgebra, haciendo previamente mención explícita a dos conjuntos: el conjunto de los vértices (*vertex set*), V , y el conjunto de los lados (*edge set*), E , del grafo G . La representación alternativa (notación simplificada) es $G = (V, E) = (V(G), E(G))$. Y que se puede observar a continuación dicho conjunto de dos elementos:

Así, algebraicamente, un grafo G se define como un par ordenado $G = (V, E)$, donde V hace alusión al conjunto de vértices y E al conjunto de lados. En esta investigación usaremos la notación explícita o la notación simplificada según sea necesario. Por ejemplo:

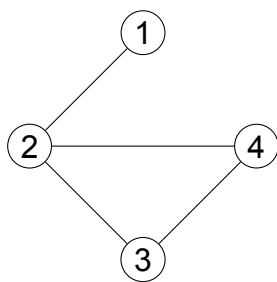


Figura 1.1: Grafo de 4 vértices conectados

$$G = (V, E) = \{(V(G), E(G))\},$$

$$V = V(G) = \{1, 2, 3, 4\},$$

$$E = E(G) = \{(1, 2), (2, 3), (2, 4), (3, 4)\}.$$

Capítulo 2

Complejidad y la deserción escolar

2.1. Las ciencias sociales y la modelación

Propongo comenzar este aporte centrándonos en aspectos epistemológicos y en la exploración de la relación entre distintas disciplinas, como las ciencias sociales y naturales. Buscamos encontrar una convergencia entre estos enfoques para discernir soluciones a los problemas y fenómenos de estudio.

Para ello, nos adentraremos en los marcos conceptuales de las teorías de la información, la autoorganización y la dinámica no lineal. Rescataré las reflexiones de Renate Mayntz en su libro "Modelos Científicos, teoría sociológica y el problema macro-micro", que proporcionarán una perspectiva contextualizada en las diversas estructuras teóricas de la sociología (10).

Las ciencias sociales han enfrentado dificultades para estudiar fenómenos sociales debido a la complejidad de las interacciones sociales y la falta de modelos equivalentes a los de las ciencias exactas. Sin embargo, creo que es posible abordar el estudio de comportamientos y experiencias colectivas desde enfoques complejos.

Este proceso de estudio está en constante desarrollo epistemológico y metodológico. La modelación y las teorías de las ciencias naturales ofrecen una vía de solución a esta situación. Por lo tanto, considero fundamental adoptar una postura que integre estos enfoques en el estudio de los hechos sociales.

Para comprender mejor mi argumento, es importante rescatar las conclusiones del texto mencionado. A continuación, citaré textualmente el libro mencionado anteriormente:

En este trabajo trataremos únicamente de este último tipo de relación interdisciplinar; y, más concretamente, sólo nos ocuparemos de la utilización por parte

de las ciencias sociales de modelos tomados de las ciencias naturales. El caso contrario no nos interesa, y no porque no haya habido experiencias históricas de ello, empezando por Darwin, por ejemplo, sobre el que influyó el filósofo y sociólogo Spencer, o ya en nuestros días la influencia que la teoría de juegos ejerce sobre la actual biología evolutiva (10, p. 66).

Dentro del contexto de esta tesis, nuestro objetivo es explorar y comprender la brecha que existe en la explicación de diversos fenómenos, una disparidad que observamos en las diferentes disciplinas que constituyen el cuerpo del conocimiento general. Mi propósito es entender cómo podemos modelar el comportamiento social de manera análoga o equiparable a como se realiza en las ciencias naturales.

Para proseguir, volveremos sobre ideas presentadas en el texto y avanzaremos con las siguientes afirmaciones.

Sin embargo, al mismo tiempo, las ciencias naturales han servido desde un principio como modelo no sólo en el plano metodológico, sino también en el teórico. En este sentido, los intentos de fundar una Mecánica o una Física Social, vistos en conjunto, jugaron un papel más pequeño que los que tomaron como modelo a la biología. Esto vale no sólo para Spencer y los desarrollos teóricos que se basan en él, sino también para Durkheim, quien, aunque insistió en ver los hechos sociales como cosas, a nivel semántico era más bien deudor de supuestos organicistas (10, p. 66).

Es evidente que, para establecer bases sólidas en el enfoque teórico de las ciencias sociales en general, se han empleado antecedentes, conceptos o herramientas provenientes de las ciencias naturales. Un ejemplo destacado es el uso del concepto de evolución, que ha llevado a la formulación de construcciones como la Física social. Sin embargo, esta perspectiva ha sido objeto de críticas por parte de otros autores. En el texto “Conocimiento local” del autor Clifford Geertz, se cuestiona esta perspectiva, y a continuación se presenta su argumento (11, p. 11).

Asimismo, soy más consciente que entonces de la enorme influencia que esta línea de pensamiento —una suerte de cruce entre la escasa disposición del experto para el matiz y la del exégeta para la comparación— ha llegado a alcanzar

en las ciencias sociales. En parte, la explicación es bien simple. Hace diez años, la idea de que los fenómenos culturales debían ser tratados como sistemas significativos que plantean cuestiones expositivas causaba una mayor alarma entre los científicos sociales —pues suelen ser alérgicos a todo aquello que sea literario ó inexacto— de la que causa hoy día. En parte, dicha importancia se debe a la convicción creciente de que la aproximación clásica que abordaba tales fenómenos, la física social de leyes y causas no trajo consigo el triunfo de la predicción, del control y de la verificación que durante tanto tiempo se nos había prometido en su nombre (11, p. 11).

En este sentido, aunque el propósito de realizar predicciones concluyentes y precisas sobre fenómenos sociales equivalentes a la exactitud en las ciencias físicas, químicas, matemáticas o biológicas aún es incipiente, considero que la relación intrínseca entre el fenómeno social y la búsqueda de explicaciones presentes o futuras es confirmatoria y es fundamental para comprender ciertos acontecimientos de la vida social. Estas conexiones marcan el comienzo de la idea de transdisciplinariedad entre estas dos formas de entender los hechos contemporáneos. Aunque al principio puedan parecer heterogéneas para concebir la lógica que rige nuestro mundo actual, el análisis posterior de este texto desarrolla las siguientes argumentaciones (10, p. 66).

Por el contrario, la influencia de los modelos científico-naturales se nota especialmente en el ámbito de la teoría macrosociológica, particularmente en el intento de modelización formal y matemática. Los métodos, conceptos y teorías físico-matemáticas que atraen la atención de los sociólogos que trabajan en esos dos ámbitos son a primera vista muy heterogéneos. Las relaciones entre el depredador y la presa y el hiperciclo de Eigen se mezclan con la teoría de catástrofes y la teoría del caos, ambas matemáticas; a ellas se suma la teoría de las estructuras disipativas de Prigogine y la de la autoorganización de Von Foerster; la teoría sinérgica de Haken y la teoría autopoietica de Maturana. Visto con detenimiento, todos estos planteamientos están en armonía y pueden ser considerados como componentes de una macroteoría hipotética de sistemas dinámicos (10, p. 66).

En efecto, las similitudes entre las formas de dilucidar las interacciones en la sociedad desde una perspectiva basada en fundamentos físico-matemáticos, mediante modelos como el de depredador-presa y otros, a pesar de ser concebidos de manera simple, pueden

resultar muy provechosas para comprender la compleja estructura social. A continuación, desarrollaré los argumentos previamente citados en este capítulo (10, p. 67).

Bajo la etiqueta de dinámica de sistemas no lineales se incluyen tanto teorías de carácter analítico-formal como sustantivas. En el grupo de las primeras hay que destacar la teoría matemática de catástrofes de René Thom y el análisis del caos determinista. En ambas, las discontinuidades o saltos de una fase a otra juegan un papel central, especialmente el salto repentino de orden a caos. Características importantes de estos procesos son la existencia de valores umbral, la dependencia de los acontecimientos respecto de una trayectoria y la posibilidad de bifurcaciones, es decir, de posibles procesos alternativos bajo determinadas circunstancias. Las teorías sustantivas se ocupan principalmente de procesos de emergencia espontánea de orden, de la fase de transición que sigue a una ruptura del orden y que conduce a una nueva situación de desequilibrio. Los fenómenos a los que se refieren estas teorías son extraordinariamente variados. Van desde el ferromagnetismo, la superconductividad y el láser a la formación de colonias de células móviles y a los procesos autocatalíticos responsables de la génesis de las moléculas proteicas autorreproductoras, pasando por procesos hidrodinámicos, relojes químicos y las manchas en la piel del leopardo. No obstante, todos estos procesos, vistos desde un conveniente nivel de abstracción, pueden ser reunidos en un paradigma común. Tanto si, como parece ser la inclinación de los sociólogos, nos referimos a él con el término de autoorganización siguiendo a Von Foerster, como de estructuras disipativas siguiendo a Prigogine o de sinérgica siguiendo a Haken, los elementos esenciales de este paradigma común pueden ser resumidos brevemente de este modo: 1. Los procesos autoorganizativos tienen lugar propiamente en sistemas constituidos por una gran cantidad de elementos. 2. Tales sistemas se encuentran en estado de inestabilidad termodinámica. 3. Los sistemas toman de su entorno la energía que utilizan en el proceso de autoorganización. 4. El orden o la estructura que se forma no se produce por causas externas, sino por la interacción entre los elementos del sistema. Este orden emergente representa una macrocualidad nueva del sistema. 5. Tales procesos autoorganizativos son, intrínsecamente, de naturaleza no lineal (10, p. 67).

Este apartado resulta esclarecedor, ya que los conceptos como las transiciones de fase o las bifurcaciones, cuyo desarrollo se sitúa en las posturas de las ciencias naturales, tienen importantes asociaciones con fenómenos de la vida misma. Teóricamente, existe una similitud en sus definiciones, y bajo ciertas esquematizaciones más enfocadas en el estudio de los procesos sociales, y claramente para los objetivos de este proyecto, pueden proporcionar una explicación adecuada para fenómenos que, dentro de la lógica común, son excepcionales o anormales en las vastas interacciones sociales. Estos conceptos pueden ayudar a construir una visión no solo funcional, sino también precisa, para abordar el estudio de estos fenómenos divergentes.

Asimismo, es relevante destacar una serie de atributos que la autora asoció con el concepto de autoorganización. Se refirió a este fenómeno como una serie de sistemas con una cantidad no solo masiva, sino también heterogénea de elementos que interactúan entre sí, siendo inestables en esas interacciones y conectados de manera causal. Dentro de este marco, surgen una variedad de sistemas y procesos de organización con autonomía, además de ser no lineales, una concepción que considero apropiada para comprender los procesos que emergen en lo social. Continuando con el texto (10, p. 68), se subraya lo siguiente:

Resumiendo, a grandes rasgos podemos encontrar dos tipos de influencias, que podríamos caracterizar como formal y discursiva. Cada una es representativa de uno de los dos ámbitos de recepción señalados antes. El primer tipo de influencia se da en el ámbito de la modelización formal, especialmente matemática, de procesos sociales, donde no se trata tanto de teorías científicas referidas a algún objeto natural, sino más bien de procedimientos y modelos matemáticos. Lo interesante aquí es la estructura formal de estos procesos y la posibilidad de formularla matemáticamente. Según esto, se toman como referencia determinados desarrollos formales de dinámicas no lineales, como la teoría matemática de catástrofes de R. Thom (Thom, 1972) o el análisis científico de procesos físicos de autoorganización que incluso llegan a ser formulados matemáticamente de modo parcial. Esto último vale especialmente para la sinérgica de Haken (Haken, 1978). Los conceptos generales de transición de fase, de ruptura estructural o de orden espontáneo en sistemas inestables pueden haber actuado como estímulo, pero no son decisivos para ese tipo de influencia que se centra en aspectos

formales de métodos y modelos (10, p. 68).

En esta parte del texto, se inicia la discusión sobre la posibilidad de modelar los fenómenos de la colectividad con la misma rigurosidad que se hace en la física. Es decir, se plantea la idea de comprender, a través del lenguaje matemático, cómo se comportan ciertos procesos sociales de manera similar a los fenómenos físicos. De hecho, se ha logrado explicar parcialmente algunos fenómenos sociales utilizando este enfoque. Profundizando en este tema, el texto menciona lo siguiente (10, p. 70):

Por lo que atañe a la atracción de los nuevos modelos científicos para la sociología, puede ser que el carácter normativo o emocionalmente sugestivo de conceptos como autoorganización, catástrofe o caos haya elevado la receptividad, así como el deseo de emular el prestigio de las ciencias duras. Pero más importantes son, de hecho, las semejanzas formales que saltan a la vista entre modelos científicos de dinámicas no lineales y determinados procesos sociales, pues, aunque de un modo general y vago —suggestive, como dicen los americanos—, estas semejanzas alientan la esperanza de que se pueda sacar de los modelos científicos algo útil para la explicación de procesos sociales. Autores como Walter Bühl (1990), que se ha pronunciado al respecto con todo detalle, ven la relevancia sociológica de esas teorías principalmente en que ofrecen modelos para el análisis de procesos discontinuos de cambio social, ciclos, fluctuaciones y catástrofes, como reza el subtítulo de su último libro. Además, ello fomenta el estudio de procesos que han sido sistemáticamente ignorados, según Bühl, por las teorías sociológicas dominantes hasta ahora. Aunque no se comparta el punto de vista de Bühl sobre la obsesión por el equilibrio reinante en la teoría sociológica hasta nuestros días, haciendo especial referencia a Marx y a Weber, hay algo de cierto en su fundamentación del significado que tienen los modelos de dinámicas no lineales para la sociología. Mi tesis, aunque compatible con esa fundamentación, es otra, a saber: que la especial relevancia de estos recientes modelos matemáticos y científico-naturales reside en su contribución para la solución del llamado problema micro-macro. Exactamente de este problema, del surgimiento de fenómenos macro a partir del comportamiento de los elementos del sistema sometidos a reglas reconocibles, se ocupan todas las nuevas teorías científicas que hemos mencionado (10, p. 70).

En este sentido, como reflexión derivada de este capítulo centrado en la asociación entre dos enfoques distintivos para estudiar la realidad, encuentro que existen posibles aplicaciones y formulaciones de modelos beneficiosos para el estudio de lo social al encontrar conexiones entre ellos. Desde una perspectiva teórica, considero acertado comenzar a comprender la homogeneidad entre el estudio con definiciones propias de las ciencias naturales y los fenómenos que emergen en la vida en grupo y en las experiencias de las comunidades.

Es crucial aprovechar ideas o conceptos como la autoorganización, que engloba una serie de atributos ya mencionados, y que pueden resultar constructivos para abordar los fenómenos sociales. Por ejemplo, la autoorganización ofrece un método para comprender ciertos hechos de manera presente y, con alta capacidad de predicción, con aplicaciones futuras, así como para abordar anomalías de manera no estigmatizada, sino mediante una nueva comprensión facilitada por estas definiciones provechosas.

2.2. Hasta dónde alcanza las conclusiones de los modelos

Es crucial reconocer tanto el alcance como las limitaciones de esta forma de estudio. Si bien el modelamiento matemático proveniente de otras áreas del pensamiento ha sido fundamental para el avance del conocimiento, en el ámbito de las ciencias sociales es necesario reflexionar sobre la viabilidad de integrar este tipo de enfoques. Si bien conceptos como la autoorganización muestran similitudes tanto teóricas como prácticas con fenómenos sociales, es importante entender que el estudio de las colectividades no se ajusta a una comprensión lineal. Por otro lado, tampoco se puede reducir a una organización dirigida por un solo individuo o grupo, ni tampoco a lógicas descriptivas donde la causa de los hechos es externa al fenómeno mismo. Además, la interpretación de estos procesos sociales no necesariamente sigue características explicadas de manera lineal, especialmente en el ámbito matemático o estadístico.

Continúa siendo un desafío comprender cómo las ciencias sociales pueden integrar, mediante su análisis y comprensión de los fenómenos sociales, el simbolismo matemático. ¿Es posible fusionar disciplinas para encontrar respuestas, conocimientos o comprensiones a los fenómenos sociales utilizando una serie de lenguajes en forma de abstracciones matemáticas? Para explorar esta pregunta, volveré al libro (10, p. 71), donde se explicarán de manera introductoria y se enlazarán nuevos conceptos necesarios para entender la asociación entre lo social y el lenguaje matemático.

Los propios científicos, especialmente los autores del paradigma de la autoorganización ven que estas teorías pueden contribuir a construir un puente entre lo micro y lo macro. De una u otra forma, todos ponen de relieve que los procesos autoorganizativos generan propiedades a nivel macro de los sistemas observados que no pueden deducirse de las propiedades mensurables de sus elementos por simple agregación (10, p. 71).

La autoorganización, siendo un proceso arraigado en los campos de la física y las matemáticas, guarda una relación simbiótica con una definición latente dentro del vasto conocimiento sociológico, la cual la autora describe como "niveles macro". * Desde la teoría sociológica, la autoorganización comparte conexiones importantes con definiciones propias de diversos autores en el campo de la sociología. Este concepto se refiere a la atención de ciertas secuencias distantes en el análisis histórico, cultural, social y político de experiencias e interacciones denominadas fenómenos que existen en niveles macrosociales, asociadas a la emergencia y en la no linealidad. A pesar de ser interpretaciones alojadas en ramas de estudio heterogéneas, pueden servir como directriz para comprender las instancias sociales.

En la primera definición de lo macrosocial, se observa que, a partir de fenómenos sociales o hechos de la misma naturaleza, surgen eventos que se identifican como el nivel macro en las colectividades, a nivel interpersonal e intercultural, es decir, hechos que ocurren a una escala más pequeña dentro de las grandes poblaciones (conocidas como propiedades emergentes dentro de los sistemas complejos).

Este planteamiento permite una posible integración entre las diferentes configuraciones de estudios, comenzando a entender la relación entre lo social expresado a través de un lenguaje simbólico integrado en las matemáticas. Sin embargo, es necesario profundizar en este sentido y responder de manera más clara y directa a la interrogante planteada en este capítulo.

Para ello, propongo la siguiente argumentación como antecedente a mi conclusión, basada en el texto (10, p. 73) que ha sido una pieza fundamental en la construcción de este

*El nivel macro y la autoorganización la define a continuación en el texto de la siguiente manera, cito:

El problema micro-macro es un problema de emergencia de nuevas propiedades o un problema de interacción entre niveles inferiores y superiores en sistemas jerárquicos, en los que la jerarquía no ha de ser entendida como una cadena de órdenes, sino como una relación de inclusión. Mi primera tesis es, pues, que la expectativa de una mejor comprensión de fenómenos sociales emergentes en el sentido aquí especificado es la razón más importante del atractivo no sólo del paradigma de la autoorganización, sino de otras teorías científicas de dinámicas no lineales como lo es, en último extremo, la teoría de la evolución.(10, p. 71)

tema de investigación.

Una vez que hemos entendido dónde reside el atractivo de los modelos físico-matemáticos para el sociólogo, se plantea entonces la pregunta siguiente: ¿hasta dónde alcanza realmente la potencia explicativa de los modelos basados en la autoorganización en el ámbito sociológico? En primer lugar, resulta evidente que los mecanismos de agregación e interacción de los sistemas físicos, químicos e incluso orgánicos no pueden ser traducidos directamente. Sin embargo, estos mecanismos son el núcleo de las teorías científicas sustantivas que sirven de modelo, por lo que su equivalente sociológico habría de tener el mismo significado en la explicación de los macrofenómenos sociales. Si se considera únicamente la estructura formal de los diversos mecanismos naturales, se perciben estimulantes posibilidades para traducir el modelo. Se puede comprobar que en fenómenos de autoorganización en sistemas físicos, químicos y orgánicos son de central importancia procesos catalíticos y autocatalíticos, así como la acción conjunta o la interferencia de reacciones recíprocas entre elementos que circulan con distinta velocidad y que ejercen sobre el sistema una acción condensadora o ratificante. Pero estos paralelismos no nos llevan muy lejos mientras no podamos decir, refiriéndonos a nuestro objeto, qué es lo que se condensa o dispersa a tal intensidad y tal frecuencia y mediante cuáles interacciones entre personas humanas. Es decir, estos paralelismos, en principio, nos señalan torpemente — aunque ya es algo— la dirección en la que podríamos buscar (10, p. 73).

Indudablemente, aunque los modelos arraigados en la vasta gama de estudios de las ciencias naturales inicialmente no estén directamente relacionados con el estudio de lo social, comprender lo social no es un ejercicio sencillo o transparente. A diferencia de traducir modelos, mecanismos, números o herramientas que son, hasta cierto punto, predecibles en la naturaleza, abordar lo social puede ser el comienzo de una forma de estudio teórico y metodológico con matices transdisciplinarios.

En esta perspectiva, la práctica y los aspectos epistemológicos no se encuentran aislados, sino que se entrelazan para generar acciones de transformación social. Además, esta comprensión de lo social podría ofrecer indicios muy prácticos en situaciones de emergencia futuras o en la comprensión de estigmas que, erróneamente, hemos interpretado como anormalidades o casos que carecen de interés científico generalizado.

2.3. La Teoría de la complejidad

Para avanzar en la comprensión de la simbiosis entre la modelación con fundamentos matemáticos y los fenómenos sociales, considero crucial expandir este apartado teórico abrazando una definición equiparable a la noción de complejidad en el ámbito más específico de las ciencias naturales. Para ello, me basaré en la fuente titulada "What Is Complexity?" [¿Qué es la Complejidad?] de la autora Melanie Mitchell, ofreciendo una breve recapitulación similar a lo abordado inicialmente en este escrito acerca de dicho texto.

En este texto, se lleva a cabo una serie de introspecciones en torno a la noción de complejidad. Se inicia con una contextualización que ejemplifica esta definición mediante la exploración de los diversos sistemas presentes en el mundo, centrándose especialmente en la estructura de los microorganismos, tal como se expone en el libro (12, p. 4).

The mysteries of army ants are a microcosm for the mysteries of many natural and social systems that we think of as "complex." No one knows exactly how any community of social organisms—ants, termites, humans— come together to collectively build the elaborate structures that increase the survival probability of the community as a whole. Similarly mysterious is how the intricate machinery of the immune system fights disease; how a group of cells organizes itself to be an eye or a brain; how independent members of an economy, each working chiefly for its own gain, produce complex but structured global markets; or, most mysteriously, how the phenomena we call "intelligence" and "consciousness" emerge from nonintelligent, nonconscious material substrates [Los misterios de que las hormigas en escuadra son un microorganismo son uno de los misterios de muchos sistemas naturales y sociales que consideramos "complejos". Nadie sabe exactamente cómo una comunidad de organismos sociales (hormigas, termitas, humanos) se unen para construir colectivamente las elaboradas estructuras que aumentan la probabilidad de supervivencia de la comunidad como un todo. Ecuánimemente misterioso es cómo la intrincada maquinaria del sistema inmunológico combate las enfermedades; ¿Cómo un grupo de células se organizan para ser un ojo o un cerebro?; ¿Cómo los miembros independientes de una economía, cada uno trabajando principalmente para su propio beneficio, producen mercados globales complejos pero estructurados?; o, más misteriosamente, ¿Cómo los fenómenos que llamamos "inteligencia" y "conciencia" emergen de niveles materiales no in-

teligentes y no conscientes?]) (12, p. 4).

Es importante resaltar cómo estos microorganismos logran una especie de autonomía en su estructuración y organización, sin depender de un control centralizado, pero con una clara capacidad para actuar en conjunto hacia una o varias metas comunes. En otras palabras, no hay un líder específico encargado de dirigir las diversas acciones, ni un único actor principal que domine el proceso de aprendizaje. Este último aspecto se entiende más desde la perspectiva de las experiencias naturales, en contraposición a procesos cognitivos altamente complejos relacionados con el procesamiento de información en niveles más sofisticados.

Aunque existen diferentes tácticas y metodologías provenientes de campos de estudio como la pedagogía, que han contribuido a estructurar nuestra comprensión del aprendizaje y cómo se lleva a cabo, estas distan considerablemente de lo que se observa en el medio natural. A primera vista, parece que en el reino natural las acciones se guían más por instintos, aunque este término puede resultar paradójico en el contexto de una percepción más analítica que implica una toma de decisiones reflexiva. Este mismo principio puede extrapolarse al entendimiento de los fenómenos sociales (12, p. 4).

Such questions are the topics of complex systems, an interdisciplinary field of research that seeks to explain how large numbers of relatively simple entities organize themselves, without the benefit of any central controller, into a collective whole that creates patterns, uses information, and, in some cases, evolves and learns [Tales preguntas son los temas de los sistemas complejos, un campo de investigación interdisciplinario que busca explicar cómo un gran número de entidades relativamente simples se organizan, sin el beneficio de ningún controlador central en un todo colectivo que crea patrones, usa información, y en algunos casos, evoluciona y aprende] (12, p. 4).

Bajo estos paradigmas, el libro plantea una serie de reflexiones que destacan las complejidades inherentes al comportamiento individual dentro de estructuras sociales más amplias. En este contexto, se observa cómo las partes de estas estructuras, al interactuar entre sí, generan un mayor nivel de orden complejo en su conjunto. Este proceso no se limita a acciones individuales o a la interacción entre entidades similares pero separadas. Más bien, se define por un actuar colectivo, grupal, poblacional o estructural, entre otros aspectos.

Se destaca que esta práctica se lleva a cabo de manera casi inconsciente en la vida cotidiana, siendo percibida como algo mundano o normal. En otras palabras, estas acciones se ejecutan de forma autónoma o autoorganizativa, y se consideran parte de la rutina diaria. Sin embargo, al profundizar en este tema, el texto (12, p. 5) argumenta lo siguiente de manera textual:

Although much is now understood about ants and their social structures, scientists still can fully explain neither their individual nor group behavior: exactly how the individual actions of the ants produce large, complex structures, how the ants signal one another, and how the colony as a whole adapts to changing circumstances (e.g., changing weather or attacks on the colony) [Aunque ahora se sabe mucho acerca de las hormigas y sus estructuras sociales, los científicos aún no pueden explicar completamente ni su comportamiento individual ni grupal: exactamente cómo las acciones individuales de las hormigas producen estructuras grandes y complejas, cómo las hormigas se señalan entre sí y cómo la colonia como un todo se adapta a las circunstancias cambiantes (por ejemplo, el cambio de clima o los ataques a la colonia)] (12, p. 5).

Dando como ejemplo algunos procesos, podemos comprender cómo las acciones individuales contribuyen a cuestiones de magnitud más amplia, que trascienden lo unipersonal para adentrarse en la complejidad de nuestra realidad convencional. Estos procesos, por su profundidad tanto en su formulación como en su comprensión, pueden definirse como complejos, ya que involucran una serie de interacciones y niveles de organización que progresan en seres inicialmente simples, como las hormigas.

A pesar de que estas hormigas, en su forma individual, puedan parecer organismos simples, su organización y sus acciones colectivas para la supervivencia son objeto de estudio para las ciencias complejas. Y por ello estas mismas encuentran similitudes entre la organización de estos sistemas y los sistemas del ser humano, a pesar de las importantes diferencias en múltiples aspectos. Otros ejemplos de sistemas complejos incluyen el cerebro humano, el cuerpo humano en su totalidad y sistemas específicos como el sistema inmune, *La economía y la web son dos ejemplos más de sistemas complejos, cada uno con sus pro-

*Aunado a esto, el libro de igual forma reflexiona a continuación, los siguientes argumentos:

work together to build astoundingly complex structures that are clearly of great importance for the survival of the colony as a whole. Consider, for example, their use of soil, leaves, and twigs to

pias características distintivas. En particular, la web se destaca como un sistema de índole compleja que exhibe propiedades auto-organizativas (12, p. 6).

In the brain, the simple components are cells called neurons. The brain is made up of many different types of cells in addition to neurons, but most brain scientists believe that the actions of neurons and the patterns of connections among groups of neurons are what cause perception, thought, feelings, consciousness, and the other important large-scale brain activities [En el cerebro, los componentes simples son células llamadas neuronas. El cerebro está formado por muchos tipos diferentes de células además de las neuronas, pero la mayoría de los científicos del cerebro creen que las acciones de las neuronas y los patrones de conexiones entre los grupos de neuronas son lo que causa la percepción, el pensamiento, los sentimientos, la conciencia y otros aspectos importantes. actividades cerebrales a gran escala] (12, p. 6).

El cerebro, en su complejidad, exhibe propiedades similares a las de un sistema complejo auto-organizado. Dentro de estas propiedades, encontramos capas que son fundamentales para su funcionalidad, incluso para la simple el hecho de poder procesar información. Estas capas pueden entenderse como una serie de elementos que operan de manera independiente pero que están interconectados para asegurar el funcionamiento adecuado de los diferentes subsistemas cerebrales. *A continuación, con la clasificación de sistemas que exhiben características complejas, nos centraremos en el sistema inmune como un ejemplo destacado de un proceso complejo (12, p. 8).

construct huge nests of great strength and stability, with large networks of underground passages and dry, warm, brooding chambers whose temperatures are carefully controlled by decaying nest materials and the ants' own bodies trabajen juntos para construir estructuras asombrosamente complejas que son claramente de gran importancia para la supervivencia de la colonia en su conjunto. Considere, por ejemplo, su uso de tierra, hojas y ramitas para construir enormes nidos de gran fuerza y estabilidad, con grandes redes de pasajes subterráneos y cámaras secas, cálidas y de crianza cuyas temperaturas son cuidadosamente controladas por los materiales del nido en descomposición y las hormigas. propios cuerpos (12, p. 4).

*Y en equidad a lo antedicho con la economía, el texto introspeccióna lo siguiente:

Economies are thought by some economists to be adaptive on both the microscopic and macroscopic level. At the microscopic level, individuals, companies, and markets try to increase their profitability by learning about the behavior of other individuals and companies (12, p. 4).

The immune system consists of many different types of cells distributed over the entire body (in blood, bone marrow, lymph nodes, and other organs). This collection of cells works together in an effective and efficient way without any central control [El sistema inmunitario consta de muchos tipos diferentes de células distribuidas por todo el todo el cuerpo (en la sangre, la médula ósea, los ganglios linfáticos y otros órganos). Esta colección de células trabaja en conjunto de manera eficaz y eficiente sin ningún control central] (12, p. 8).

Las inferencias de la autora sugieren que el cuerpo humano, al igual que el cerebro, puede ser considerado un sistema complejo debido al funcionamiento eficiente de varios subsistemas autónomos que coexisten en él. Estos subsistemas son autoorganizativos, lo que significa que funcionan de manera independiente, pero contribuyen al bienestar general del organismo al influir en su conjunto de forma coherente.

2.4. Complejidad y la web como contenido

La conexión epistémica con nuestro objeto de investigación para esta tesis nos lleva a considerar la web no solo como un medio de contenido, sino también como un sistema complejo con características similares a las del cerebro y el cuerpo humano, como se ejemplificó anteriormente. En este marco teórico, analizaremos internet no solo como un "social media", sino también como una estructura o sistema complejo. Al igual que el cerebro, que opera a través de diversas interacciones entre sistemas encapsulados de neuronas, y el sistema inmune, cuya organización se integra con otros sistemas del cuerpo humano para mantener su funcionamiento estable, la web también cumple con la idea de ser un espacio de información constante y diversa.

La web, dentro de este marco, funciona como un sistema autoorganizativo, no requiere de un control central para procesar información y mantener su funcionamiento. A pesar de su aparente caos, existe una cierta jerarquía y orden que permite su funcionalidad. Esta comprensión de la web como un sistema complejo nos permite profundizar en su naturaleza y entender cómo interactúa con otros sistemas complejos, como la economía.

Citando el texto utilizado en su totalidad para abarcar lo que se entiende como complejidad (12, p. 10), podemos destacar lo siguiente:

However, complex systems scientists have discovered that the network as a whole has many unexpected large-scale properties involving its overall structure, the way in which it grows, how information propagates over its links, and the coevolutionary relationships between the behavior of search engines and the Web's link structure, all of which lead to what could be called "adaptive" behavior for the system as a whole[Sin embargo, los científicos de sistemas complejos han descubierto que la red como un todo tiene muchas propiedades inesperadas a gran escala que involucran su estructura general, la forma en que crece, cómo se propaga la información a través de sus enlaces y las relaciones coevolutivas entre el comportamiento de búsqueda motores y la estructura de enlaces de la Web, todo lo cual conduce a lo que podría llamarse un comportamiento "adaptativo" para el sistema en su conjunto] (12, p. 10).

En este sentido, la web es un fenómeno vertiginoso que experimenta cambios constantes, siempre en proceso de reorganización o renovación. No requiere de un centro de procesamiento de información ni de un procedimiento lineal dictado por un inicio y un fin, sino que se trata de una reconstrucción constante de sus estructuras para satisfacer las necesidades de los usuarios en su vida diaria, como la interacción entre ellos. Este proceso genera lo que se conoce como propiedades emergentes.

Para concluir, quiero destacar la definición del concepto de complejidad tal como se expone en el libro, citando textualmente (12, p. 13):

Now I can propose a definition of the term complex system: a system in which large networks of components with no central control and simple rules of operation give rise to complex collective behavior, sophisticated information processing, and adaptation via learning or evolution [Ahora puedo proponer una definición del término sistema complejo: un sistema en el que grandes redes de componentes sin control central y reglas simples de operación dan lugar a un comportamiento colectivo complejo, procesamiento de información sofisticado y adaptación a través del aprendizaje o la evolución] (12, p. 13).

Concluyendo de manera personal, considero que la noción de complejidad trasciende una visión lineal y un análisis individual cuando se trata de estudiar fenómenos, sistemas o

estructuras. La complejidad implica una naturaleza intrínseca que va más allá de lo simple y requiere un enfoque holístico para su comprensión.

En cuanto al análisis de la web y su contenido, es relevante considerar la asociación entre los medios de comunicación digitales y la web, especialmente en el contexto de los "social media", que representan una parte fundamental de nuestra vida contemporánea. Para abordar esta temática, me basaré en el texto "La red como espejo. En 'El ver y las imágenes en el tiempo de internet' del autor Martín Prada, J.", donde se explora cómo estas plataformas digitales introducen un nivel mayor de complejidad en la comunicación. En la era actual, la frontera entre lo privado y lo público se difumina, ya que estamos constantemente conectados y compartimos aspectos íntimos de nuestras vidas en un contexto de comunicación constante. El texto (13, p. 75) aborda este fenómeno de la siguiente manera:

Para muchos usuario de internet, ningún impulso o idea parece inaceptable para que esta acceda a una dimensión social o publica; toda ocurrencia, pensamiento o apetencia se manifiesta, se exterioriza, todo parece hallar satisfacción en el campo de la representación, de la actuación por la cámara, por muy absurdas que pueden parecer (13, p. 75).

Es interesante explorar la correlación entre los medios digitales, la comunicación y la web con los procesos de aprendizaje a lo largo del tiempo. Para contextualizar esta relación, es importante definir el concepto de cultura, como lo hace Alejandro Grimson en su obra "Los límites de la cultura". Grimson describe la cultura como aquello que es compartido socialmente por un grupo, aunque este aspecto compartido puede no ser homogéneo en toda la población.

Desde esta perspectiva, la cultura se entiende como algo construido y distribuido por la sociedad, lo que implica que está constantemente en proceso de cambio y transformación. Los medios digitales y de comunicación, así como la web, juegan un papel fundamental en este proceso de socialización, ya que los contenidos que circulan a través de estos medios influyen en nuestra forma de interactuar y compartir información.

Por lo tanto, los medios digitales no solo reflejan la cultura existente, sino que también contribuyen a su construcción y evolución. Los contenidos que consumimos a través de estos medios impactan en nuestra cosmovisión, en la adquisición de nuevas competencias y en nuestra forma de aprender. En este sentido, la cultura dicta en gran medida qué conocimientos internalizamos y cómo los interpretamos (14, p. 174).

2.5. La brecha digital como factor de deserción

En efecto, es crucial considerar el impacto de las herramientas tecnológicas en la educación dentro del marco de este proyecto de tesis. Además de ser facilitadoras de la formación educativa, estas herramientas también pueden actuar como agentes de disrupción social, especialmente cuando no se utilizan de manera equitativa y no se garantiza el acceso igualitario a ellas.

La falta de igualdad y equidad en el acceso y uso de las herramientas digitales puede conducir a un deterioro en el proceso educativo, ya que algunos individuos pueden quedar rezagados debido a la brecha tecnológica. Esto no solo puede resultar en un desinterés por la formación académica, sino también en una crisis más profunda que afecta a varios aspectos de la vida de los colectivos marginados.

Para abordar este problema, es esencial reflexionar sobre las observaciones y conclusiones de investigaciones relevantes, como el texto mencionado “Brecha tecnológica en la deserción escolar en una institución educativa de Puerto Maldonado, 2021” de la autora Gamarra Soto Rosario. Este texto (15) puede proporcionar perspectivas valiosas sobre cómo la falta de acceso equitativo a las herramientas tecnológicas puede contribuir a la deserción escolar y a otros desafíos sociales.

La brecha tecnológica, de acuerdo con Díaz -Barriga (2013) manifiesta que esta se origina por la diferencia económica y educativa que existe entre las familias y es por ello, que se evidencia este vacío tecnológico y los estudiantes tienden a abandonar sus estudios por carecer de recursos económicos para adquirir equipos y poder recibir sus clases. En este sentido, se trata de impedir el abandono escolar por parte de los estudiantes y que de una u otra forma estos puedan culminar sus estudios satisfactoriamente (15).

Es fundamental reconocer que las diferencias de clase social, impulsadas por disparidades económicas, desempeñan un papel crucial en la brecha tecnológica y, por ende, en la deserción escolar. No se trata solo de la capacidad económica para adquirir equipos tecnológicos, sino también de analizar la falta de acceso y aproximación pedagógica a estas herramientas, especialmente para aquellos de estratos sociales menos privilegiados.

Integrar estos argumentos con las reflexiones del texto “Brecha tecnológica en la deser-

ción escolar en una institución educativa de Puerto Maldonado, 2021” permite comprender mejor cómo las desigualdades socioeconómicas pueden manifestarse en el ámbito educativo. La falta de acceso equitativo a herramientas tecnológicas y la ausencia de enfoques pedagógicos inclusivos pueden exacerbar las disparidades y contribuir a la deserción escolar.

Por lo tanto, es esencial abordar estas cuestiones desde una perspectiva holística que considere tanto los aspectos económicos como los pedagógicos, y trabajar hacia soluciones que promuevan la igualdad de oportunidades educativas para todos los estudiantes, independientemente de su origen socioeconómico (15).

En las instituciones educativas, las tecnologías son consideradas un instrumento necesario para llevar a cabo el proceso educativo, motivos que generan deserción escolar por cuanto hay alumnos que carecen de recursos para ver sus clases a través de un dispositivo o que por otras razones tienen que emigrar al campo y en esos lugares la señal de internet es deficiente (15).

La noción de “brecha digital” señala la disparidad, ya sea económica o educativa, que impide que ciertos individuos accedan y se integren adecuadamente a las herramientas digitales y sus contenidos. Esta brecha no solo afecta la capacidad de los estudiantes para participar plenamente en la era digital, sino que también tiene un impacto significativo en su desarrollo personal y su capacidad para funcionar en la sociedad contemporánea.

Al considerar esta realidad, es crucial reconocer cómo la educación virtual ha experimentado una transformación fundamental. Ya no se trata simplemente de un medio de aprendizaje alternativo, sino más bien de una necesidad vital para la supervivencia en una sociedad cada vez más tecnológica. La adquisición de competencias digitales se ha vuelto esencial para la participación activa en la vida cotidiana y el desarrollo profesional en el siglo XXI.

Este cambio de perspectiva resalta la importancia de abordar la brecha digital desde una perspectiva más amplia que incluya no solo la disponibilidad de tecnología, sino también el desarrollo de competencias digitales y la creación de entornos educativos inclusivos que permitan a todos los estudiantes prosperar en la era digital (16).

El aprendizaje digital es un proceso autónomo supeditado, en buena medida, a elementos individuales como la motivación, las condiciones económicas y/o las

capacidades de cada sujeto. Existen también elementos externos que de manera indirecta configuran el propio entorno tecnológico del que dispone la persona, como pueden ser el caso de las infraestructuras de un país o el número de proveedores que faciliten el acceso a Internet. Bajo estas condiciones de partida, los primeros estudios sobre alfabetización digital atribuyeron una gran importancia a la variable edad para entender los procesos de formación y capacitación digital. En este sentido, Prensky distingue entre “nativos digitales” -individuos que nacieron dentro de la era digital- e “inmigrantes digitales”- aquellos que nacieron con anterioridad a esta revolución, y por consiguiente, tuvieron que adaptarse a ella- (Prensky, 2001: 2). Según este autor, el aprendizaje de unos y otros resulta muy dispar en la práctica -al igual que ocurre en los procesos migratorios convencionales, el “acento” o la inseguridad de los inmigrantes digitales es algo común que queda patente en miles de situaciones. Uno de los ejemplos expuestos por el autor es la llamada telefónica que comienza con “¿Te ha llegado mi email?”. Otra clasificación más actualizada es la del británico David White (2011) que propone una taxonomía donde, lo importante no es tanto la edad, sino el grado de interacción en el que la persona está involucrada con las aplicaciones y aparatos tecnológicos. Para ello, diferencia entre dos figuras, el visitante que englobaría a las personas que utilizan la tecnología de manera esporádica y con un bajo grado de implicación y el residente que sería todo lo contrario, es decir, personas que, independientemente de su edad, tienen un alto grado de implicación con el uso y manejo de las tecnologías de la información y comunicación (16).

La introducción de términos como “nativo digital” y la consideración de la brecha digital son elementos clave para comprender las dinámicas contemporáneas en la educación y la sociedad en general. Los nativos digitales, aquellos que han crecido inmersos en la tecnología digital desde una edad temprana, poseen habilidades y una comprensión inherente de las herramientas digitales que los distingue de aquellos que no comparten esta misma experiencia. Esta diferencia en el acceso y la familiaridad con la tecnología puede ampliar la brecha digital, creando disparidades significativas en el aprendizaje y la participación en la sociedad.

Es esencial reconocer cómo estas diferencias pueden influir en la forma en que los individuos interactúan con la tecnología y cómo esto, a su vez, puede afectar su participación

en la educación y en la sociedad en general. Al abordar estas disparidades, es importante considerar no solo la disponibilidad de tecnología, sino también la capacitación y el apoyo necesarios para garantizar que todos los individuos puedan aprovechar al máximo las oportunidades que ofrece la era digital.

La comprensión de estos conceptos y su impacto en la sociedad actual sentará las bases para explorar más a fondo las implicaciones de la brecha digital en la educación y la sociedad, así como para identificar estrategias efectivas para abordar este desafío y promover la equidad digital (16).

Teniendo en cuenta esta potencialidad comunicativa de la Web 2.0 y el carácter dinámico de la tecnología cabe preguntarse ¿Cuándo se considera una persona alfabetizada o competente en el ámbito digital?, ¿Debe forzosamente el “ciudadano 1.0” ya alfabetizado, volver a interiorizar nuevas pautas y disposiciones socio-técnicas para no quedar excluido socialmente? Si traemos de nuevo las palabras de Toffler, la respuesta a esta pregunta condensa el leitmotif de este artículo, es decir, educar digitalmente de manera continuada capacita, posibilita y abre nuevas vías no sólo de integración social sino también de participación y empoderamiento ciudadano. La actual “Web 2.0” concede al usuario un papel más activo dentro de Internet, lo que debería ser razón suficiente para su motivación. Sin embargo, la adquisición de las competencias digitales para utilizar este tipo de instrumentos vendrá determinada, en última instancia, por los intereses, necesidades y objetivos de la persona. Si una familia tiene a un hijo viviendo en otro país y conoce una aplicación en Internet para poder verlo y escucharlo diariamente es lógico pensar que la predisposición hacia el aprendizaje y uso de la herramienta será mayor que si no lo necesitara. “La existencia de una motivación potente (vinculada, por ejemplo, a la profesión, a las aficiones o a la necesidad de conectar con familiares o amigos lejanos) es un factor clave para derrocar barreras de edad o de falta de conocimientos” (Ferrés; Aguaded, y García Matilla, 2012: 40). Por ello, la funcionalidad que reporte esta tecnología al individuo será el eslabón de enganche y el verdadero motor que haga despertar el interés en el individuo y consecuentemente, induzca a la nueva instrucción tecnológica y aprendizaje social (16).

Capítulo 3

Análisis del modelo de la deserción

3.1. Poblaciones del Modelo

Para iniciar el análisis del modelo, se propone especular sobre una serie de reflexiones que aborden la existencia de la brecha digital en términos de sistemas dinámicos. De esta manera, comenzaremos a operacionalizar términos relacionados con agrupaciones y eventos de acción colectiva, conectados con definiciones dentro del ámbito de las ciencias complejas. Para ello, es apropiado comenzar definiendo en primer lugar a los actores, los cuales presento a continuación:

1. La primera población sera denominada como los que sufrirán de brecha digital, los cuales son poblaciones, agrupaciones, colectivos, etc. (y utilizando un lenguaje más ecuánime al entendido dentro de las ciencias complejas nos referiremos a estos grupos como autómatas) que debido a su falta de conexión con el mundo digital, configurarán dentro de su ser, experiencias, emociones, así como de sufrir con inseguridades dentro de tónicas entendidas dentro de esta dinámica de competencias, y que por esta falta de oportunidad, es decir el tener un conocimiento asociado a lo digital se les es imposibilitado así como de manera subsecuente se desarrollarán fenómenos tales como la exclusión por un grupo que servirá como un contrario a estos.

2. La segunda población será la nombrada como los que no sufren de brecha digital. Y en donde, de forma homogénea, su maestría de ser un nativo digital o de apropiarse de conocimientos digitales se dará a partir de su interacción con la web es decir que, por medio de su conectividad a internet, va a labrar un mayor desenvolvimiento de su caracterización como una serie de personas capaces de incentivar cuestiones asociadas a lo digital en la vida diaria. Siendo la contraposición a la primera población y que de manera connaturalizada bajo un esquema de competitividad, serán los protagonistas al momento de incentivar procesos

de superioridad así como de falta de integración comunitaria entre las dos poblaciones

En el vasto escenario de la naturaleza, se despliega un teatro de vida donde los roles de depredador y presa danzan en un equilibrio perpetuo. Este modelo, arraigado en la competencia por la supervivencia, revela la intrincada red de habilidades y estrategias que cada especie emplea para asegurar su existencia en un mundo implacable. Ahora, presento el siguiente modelo de competencias o depredador-presa en donde se construye estas relaciones bajo este contexto.

3.2. Modelo o sistema depredador-presa

Por medio de dicho modelo llamado “depredador-presa” un modelo de sistemas de ecuaciones diferenciales que representa la interacción entre dos especies las cuales intentan plasmar la supervivencia así como la jerarquización de las razas de seres en función de una descripción acorde a la realidad empírica que existe dentro de las interacciones de los ecosistemas, este modelo fue retomado en el libro titulado como “Ecuaciones Diferenciales” de los autores Paul Blanchard, Robert L. Devaney y Glen R. Hall.

De este modelo hago una serie de interpretaciones en función de nuestro objeto de estudio y en forma de cita no textual, hago su breve reconocimiento de la extracción de dicha modelación de este sistema de ecuaciones diferenciales (7, p. 11). Y que por la sección anterior será retomado en este mismo apartado metodológico para describir las relaciones no de individuos en colectividad, sino de secuencias de seres los cuales desarrollan por medio de una normalización o de una absorción de una serie de competencias o de aprendizajes en gala de habilidades obtenidas por medio de la web o del uso de aparatos de índole tecnológicos actuales así como electrónicos. Dichas ecuaciones diferenciales serán plasmadas en esta idea ya antedicha.

Y de forma semejante este sistema se formulara matemáticamente en primer instancia tomando en cuenta cuatro parámetros complementarios a nuestra variable independiente t , que es la del tiempo y a nuestras dos variables dependientes y que serán la agrupación de presas (brecha digital) al igual que x que sera la población de los depredadores (Sin brecha digital) los parámetros son:

$-\alpha$ = Coeficiente de la perdida de las competencias.

β = Constante de proporcionalidad que mide el beneficio de una agrupación de competencias

que aumenta en favor de la asimilación de otra.

γ = Coeficiente de la razón de crecimiento de una competencia.

$-\delta$ = Constante de proporcionalidad que mide el número de interacciones de las distintas competencias en que la competencia es asimilada.

Además de que dentro de la simulación de las soluciones del sistema de ecuaciones diferenciales (desarrolladas en el lenguaje de programación python y por medio del método Runge-Kutta) , dichos parámetros se distribuyeron de la subsecuente forma:

```

1 # Parámetros del modelo
2 alpha = 0.1 # Tasa de crecimiento de las presas
3 beta = 0.02 # Tasa de decrecimiento de las presas debido a los
   depredadores
4 gamma = 0.3 # Tasa de decrecimiento de los depredadores
5 delta = 0.01 # Tasa de crecimiento de los depredadores al alimentarse

```

Formulando el sistema de ecuaciones diferenciales :

$$\frac{dx}{dt} = -\alpha x + \beta xy \quad (\text{Sin brecha digital}) \quad (3.1)$$

$$\frac{dy}{dt} = \gamma y - \delta xy \quad (\text{Con brecha digital}) \quad (3.2)$$

*Dando como un acercamiento a las soluciones relacionadas al tipo de crecimiento de las poblaciones, con la ayuda del método Runge-Kutta y por medio del lenguaje de programación python, se gráfico lo siguiente:

*La serie de comandos se encuentra anexada al final de este texto

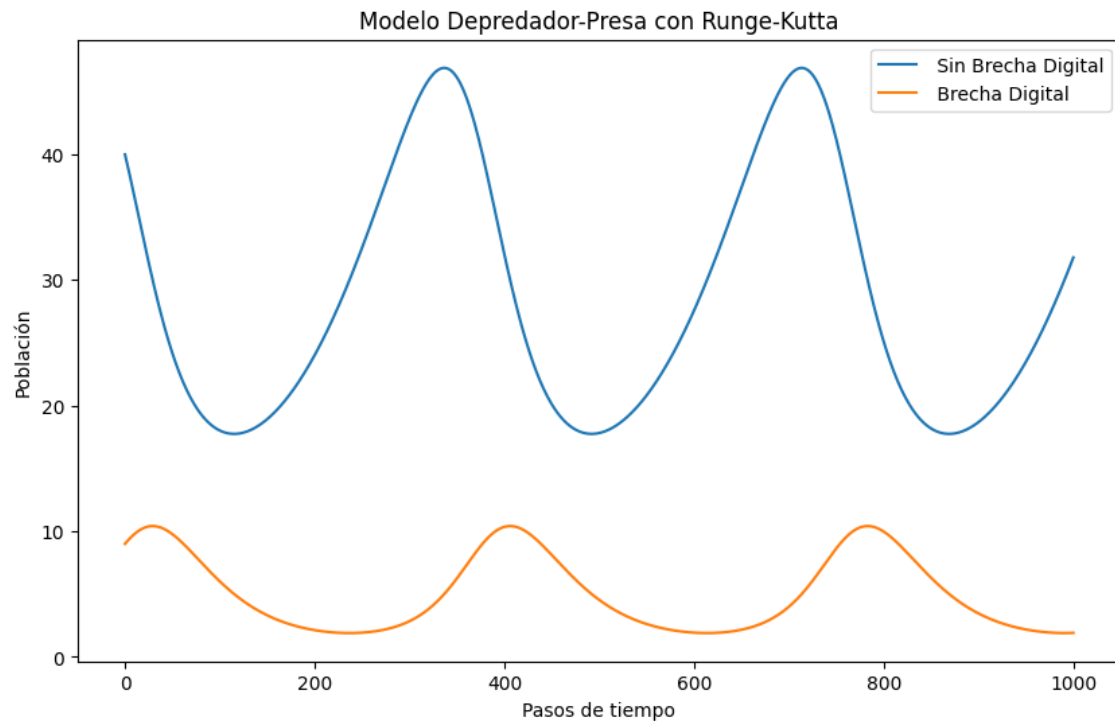


Figura 3.1: Solución modelo depredador-presa

Así como realizar distintas simulaciones a este sistema, con a continuación la variación de estos parámetros:

```

1 # Lista de parámetros
2 param_sets = [
3     {"alpha": 0.1, "beta": 0.02, "gamma": 0.3, "delta": 0.01},
4     {"alpha": 0.15, "beta": 0.03, "gamma": 0.25, "delta": 0.015},
5     {"alpha": 0.08, "beta": 0.015, "gamma": 0.35, "delta": 0.02},
6     # Variacion de parametros
7 ]

```

Y se gráficas las soluciones a partir de dicha variación de parámetros:

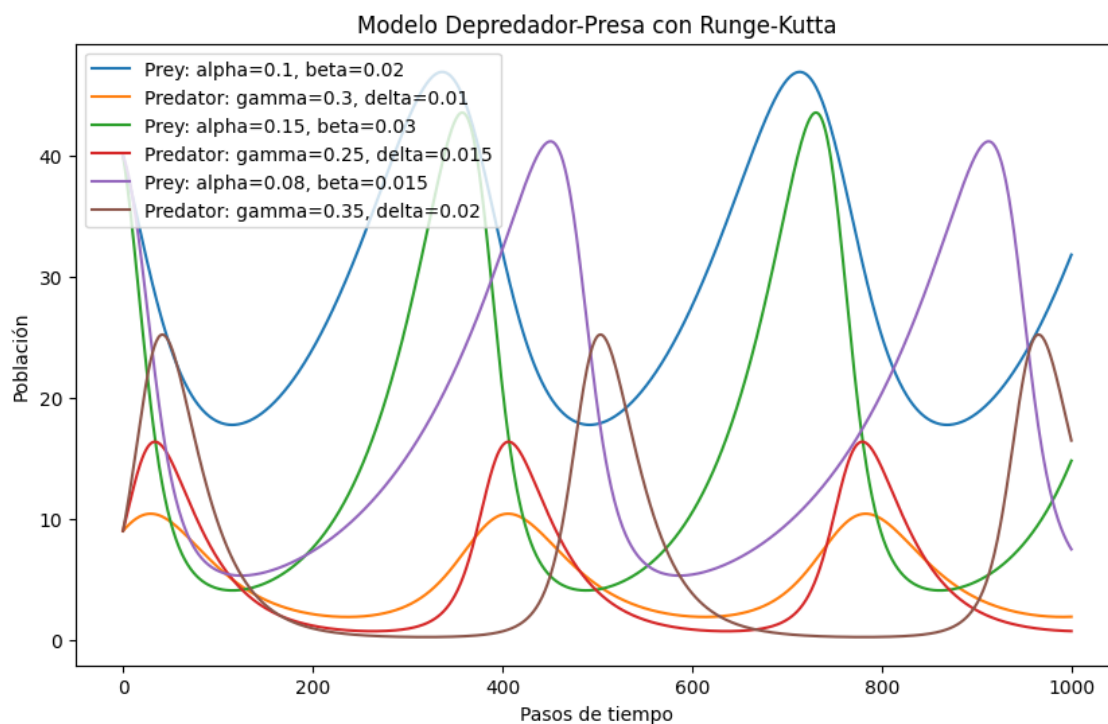


Figura 3.2: Soluciones del modelo depredador-presa

Teniendo en cuenta que el primer sistema planteado desde un origen biológico, se intenta asociar en forma de varios campos de interacción de personas. En este caso, de dos agrupaciones que desarrollaron una diversificación de su conocimiento en función de su estabilidad escolar, teniendo la creencia de que un tipo de conocimiento es más óptimo que en contraposición a su otra vertiente (pero hallando un equilibrio para que aun así el otro conocimiento menos vigente, aun sea una posibilidad su desarrollo)

Un primer ejercicio de modelamiento a diferencia del descrito es solo un crecimiento exponencial. Mostrado en la siguiente ecuación presentado por el autor Luis Andrés Amaya Cedrón, esta ecuación dictamina solamente el aumento de la presa en ausencia de un depredador, es decir para nuestro caso aumentaría solamente la población que tiene el tipo de conocimiento de los que no sufren brecha digital ya que es, una única forma de aprendizaje inmejorable o aventajada en este escenario (17).

$$\frac{dy}{dt} = \gamma y \quad (3.3)$$

Caso contrario cuando no se halla ninguna presa la ecuación es la siguiente. Es decir cuando no hay o no existe la población Sin brecha digital:

$$\frac{dx}{dt} = -\alpha x \quad (3.4)$$

Y cuando la población del depredador se extingue, es decir cuando hay nula competencia, por ejemplo cuando la formación de la agrupación es nula de los sin brecha digital (la población depredadora se mantienen constante):

$$\frac{dy}{dt} = 0 \quad (3.5)$$

Al analizar las ecuaciones propuestas inicialmente del modelo depredador-presa, se observa que dentro de la primera ecuación, el parámetro βxy indica que el aumento de los depredadores se incrementa debido a la tasa de crecimiento de las presas. En otras palabras, la ecuación diferencial:

$$\frac{dx}{dt} = -\alpha x + \beta xy$$

Describe la dinámica de la población x , que representa el grupo sin brecha digital. En este contexto, el término $-\alpha x$ refleja una disminución intrínseca en la población x , lo que implica que la población sin brecha digital decrece con el tiempo. Sin embargo, el segundo término, βxy , representa la interacción entre la población sin brecha digital x y la población con brecha digital y . Este componente contribuye al crecimiento de la población x debido a la influencia de la población con brecha digital. Por consiguiente, la población sin brecha digital puede experimentar un crecimiento neto o una disminución, dependiendo de la magnitud relativa de estos dos efectos.

Es decir la primera ecuación sugiere una disminución en la población de individuos con conocimiento (x), aunque simultáneamente aumenta su población debido a la transferencia de conocimientos hacia aquellos que no poseen brecha digital, resultando en un aumento neto de la población x .

Por otro lado la ecuación diferencial;

$$\frac{dy}{dt} = \gamma y - \delta xy \quad (3.6)$$

Describe la dinámica de la población y , que representa aquellos sujetos a brecha digital o con un nivel de conocimiento limitado. En esta formulación:

- El término γy refleja el crecimiento intrínseco de la población y , donde γ denota la tasa de crecimiento intrínseca y y representa el tamaño de la población en un momento dado.

- El término $-\delta xy$ representa la interacción entre la población y y la población x . Esta interacción implica una disminución del nivel de conocimiento limitado en la población y debido a la influencia ejercida por aquellos que no están sujetos a brecha digital (x). El parámetro δ cuantifica la intensidad de esta interacción.

En resumen, la ecuación modela cómo la tasa de cambio en la población y está determinada tanto por su crecimiento intrínseco como por la influencia de la población x , lo que implica que la interacción con aquellos libres de brecha digital puede contribuir a la mejora del nivel de conocimiento en la población y .

Mas bien nuestro modeló se conjeturaría en base a la obtención de alimento seguido, esto desde un entendimiento al depredador-presa, pero en este caso asimilando competencias en favor de sus formas de supervivencia. Debido al constante surgimiento de personas con un cierto tipo de conocimientos la población de Sin brecha digital entraran en esa competencia donde se observara su grupo no solo beneficiada al momento de plantearse en que su forma de aprendizaje se percibe beneficiada en función de integrar nuevas habilidades asociadas con el uso de las tecnologías para así de este modo, no hallar proceso de deserción sino que aumentaría su forma en que aprenden (ya que reflexionaran que el aprendizaje fomentado con la virtualidad les otorga cierto tipo de ventaja sobre su propia agrupación de Sin brecha digital) hallando a sus pares y mostrado de la siguiente forma:

$$\frac{dx}{dt} = \alpha x + \beta xy \quad (3.7)$$

*A continuación su representación gráfica:

*La serie de comandos se encuentra anexada al final de este texto

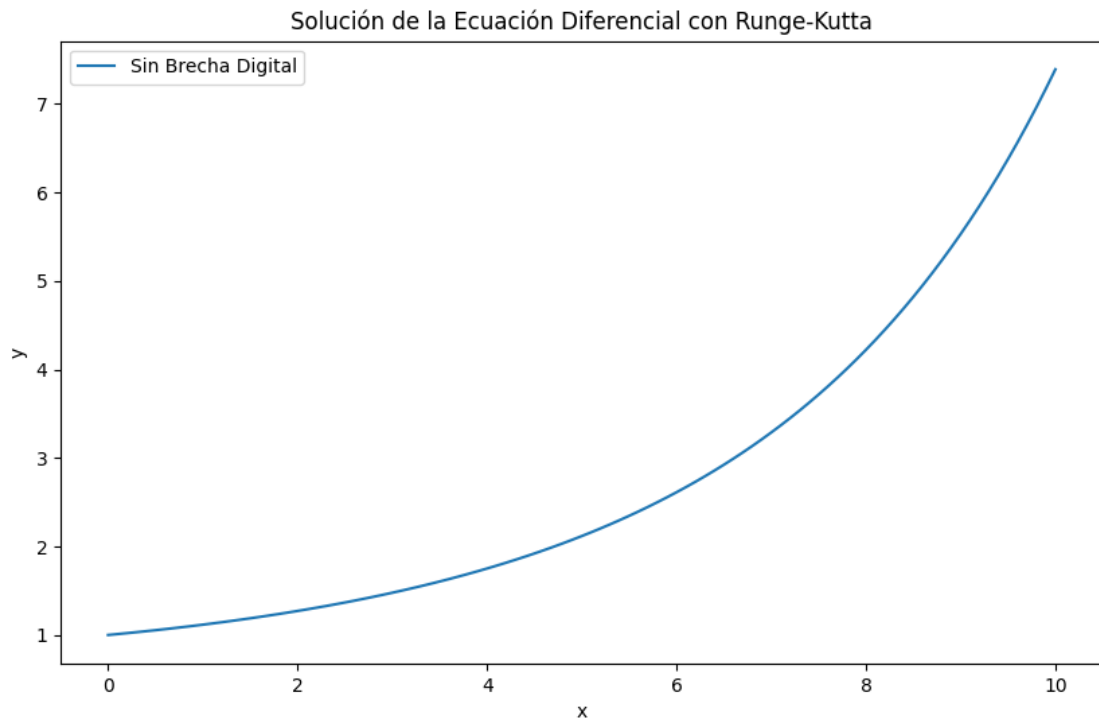


Figura 3.3: Solución en relación al depredador

Y de igual sin un factor negativo que haga disminuir la población de este caso nombrada como Sin brecha digital debido a que no se halla procesos de exclusión, la población de igual forma crecería exponencialmente, siendo un escenario utópico de constante aprendizaje con el uso de herramientas tecnológicas y de comunicación. (Mostrado la ecuación de la siguiente forma)

$$\frac{dy}{dt} = \gamma y + \delta xy \quad (3.8)$$

Y a continuación mostrando su representación gráfica:

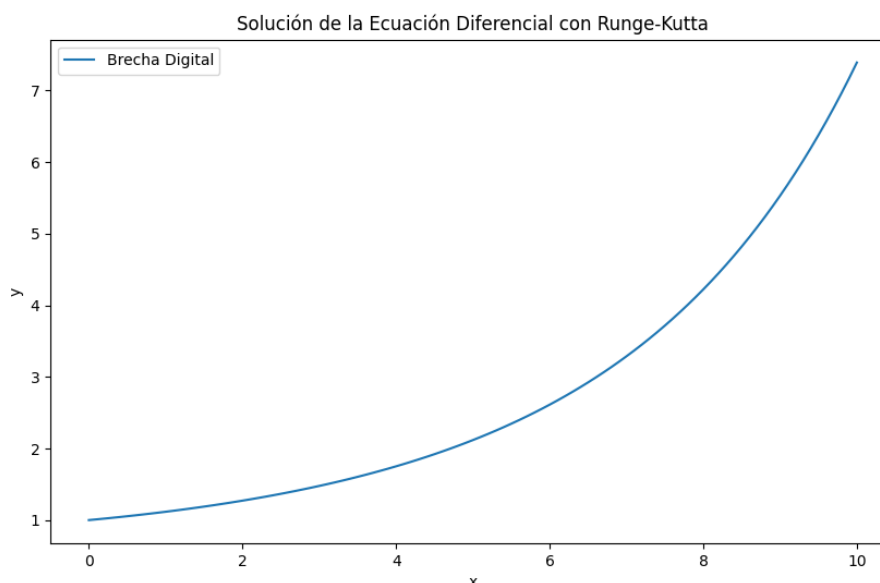


Figura 3.4: Solución en relación al grupo de sin brecha digital (presa)

3.2.1. Modelo logístico

Cuando está limitado el crecimiento de la población de la presa por otros factores entonces se apegará a un modelo logístico, véase (7, p. 101).

$$\frac{dP}{dt} = LP\left(1 - \frac{P}{N}\right) - \beta xy \quad (3.9)$$

Donde el crecimiento de la población (P) dependerá logísticamente del parámetro N . Y realizando modificaciones a este modelo de acuerdo a un arquetipo de recolección de recursos naturales obtendremos lo siguiente;

$$\frac{dP}{dt} = LP\left(1 - \frac{P}{N}\right) \quad (3.10)$$

Con el fin de hallar tres cuestiones las cuales serán enunciadas: 1.- Hallar los valores donde P donde hay un equilibrio o una estabilidad en el crecimiento de la población. Es decir, se llegará a la conclusión de cual sería una redistribución acorde en la obtención y desarrollo del conocimiento.

2.- Hallar en qué valores de P la población crece, en este caso la obtención de conocimientos aumenta. (si fuera el caso)

3.- Observar en que valores de P la población decrece, en este caso la obtención de conocimientos disminuye. (si fuera el caso)

Donde L es el parámetro de crecimiento y N es la capacidad de soporte del hábitat. Para nuestra investigación supongamos que por varios motivos (deserción escolar, falta de resiliencia, nulas oportunidades institucionales) desertan escolarmente un cierto número constante C . Donde C será la variable que representa una tasa de eliminación o reducción de la población que no está relacionada con el crecimiento intrínseco de la población, ni con su capacidad de carga N . En otras palabras, C representa una tasa constante de disminución o pérdida de población, que puede deberse a factores externos, como la caza, la mortalidad debido a enfermedades, la migración o cualquier otro proceso que reduzca la población de manera constante o uniforme, sin depender del tamaño actual de la población. En este contexto C representará la deserción estudiantil en congruencia con ciertas poblaciones de alumnos con habilidades que contraponen a un orden ya preestablecido y que esa constante será positiva es decir $C > 0$.

Las modificaciones del modelo así como su procedimiento sería el siguiente:

$$\frac{dP}{dt} = LP\left(1 - \frac{P}{N}\right) - C \quad (3.11)$$

Similar a la propuesta del libro ya mencionado, lo analizaremos como una gráfica:

$$f_C(P) = \frac{-L}{N}P^2 + LP - C \quad (3.12)$$

Esta es una ecuación cuadrática. Y en donde igualamos dicha función a 0 se obtiene lo siguiente:

$$f_C(P) = \frac{-L}{N}P^2 + LP - C = 0 \quad (3.13)$$

$$Nf_C(P) = N\left(\frac{-L}{N}P^2 + LP - C\right) = N(0) \quad (3.14)$$

$$Nf_C(P) = -LP^2 + LNP - NC = 0 \quad (3.15)$$

Obtendremos una ecuación cuadrática de la forma.

$$ax^2 + bx + c = 0$$

Y aplicando el teorema para la resolución de ecuaciones cuadráticas en su forma general y con el fin de obtener el discriminante y de esta forma la solución de dicha ecuación de grado dos, obtenemos lo siguiente:

$$x = \frac{-LN \pm \sqrt{L^2N^2 - 4LNC}}{-2L} \quad (3.16)$$

Obtendremos el discriminante con la formula:

$$\Delta = b^2 - 4aC \quad (3.17)$$

En nuestra ecuación se traduciría de la siguiente forma:

$$L^2N^2 - 4LNC = 0 \quad (3.18)$$

$$LN(LN - 4C) = 0 \quad (3.19)$$

$$-4C = -LN \quad (3.20)$$

$$C = \frac{LN}{4} \quad (3.21)$$

Volviendo a la solución de la ecuación cuadrática, nos queda lo siguiente:

$$x = \frac{N}{2} \pm \sqrt{\frac{L^2N^2 - 4LNC}{4L^2}} \quad (3.22)$$

$$x = \frac{N}{2} \pm \sqrt{\frac{N^2}{4} - \frac{NC}{L}} \quad (3.23)$$

Retomando conclusiones similares al texto (7, p. 101) .

Concluyendo que si hacemos la operación del discriminante en esta ecuación y la igualamos a cero resultará a una igualdad al discriminante ya explicado:

$$\Delta = \frac{N^2}{4} - \frac{NC}{L} = \frac{LN^2 - 4NC}{4L} \quad (3.24)$$

Igualando a cero dicha ecuación, se obtiene lo siguiente:

$$\frac{LN^2 - 4NC}{4L} = 0 \quad (3.25)$$

$$LN^2 - 4NC = 4L(0) \quad (3.26)$$

$$N(LN - 4C) = 0 \quad (3.27)$$

$$LN - 4C = L(0) \quad (3.28)$$

$$LN - 4C = 0 \quad (3.29)$$

Y despejando la constante, obtendremos:

$$-4C = -LN \quad (3.30)$$

$$C = \frac{-LN}{-4}, C = \frac{LN}{4} \quad (3.31)$$

En ese sentido y siguiendo las conclusiones del libro (7, p. 103) , dentro de las dos formas de hallar el discriminante, se encontrarán la misma solución de la constante, que será graficada a continuación por el diagrama de bifurcación (7, p. 103).

Entendemos que si:

$$C < \frac{LN}{4} \quad (3.32)$$

La línea de fase tendrá dos puntos de equilibrio, el cual será nombrado como atractor o sumidero, esto quiere decir que el crecimiento de la población abarcará a estabilizarse, es decir que si entendemos esta situación en el contexto de la perdurabilidad escolar y deserción. ceñirá un punto, el cual su aumento como urbe conjeturara la opción de un equilibrio. En este caso ejemplificado podrá haber una opción de igualdad o de similitud en su forma de comportamiento de los dos colectivos. los cuales no necesariamente sea incongruente o anómala sino que halle una dinámica de eliminación por falta de habilidad acordes y de acuerdo a la capacidad máxima del crecimiento poblacional, es decir de N . El otro punto fijo será repulsor o fuente y significara que las poblaciones indicaran una tendencia a alejarse de ese punto fijo causando el efecto contrario al anterior punto que será una falta de estabilidad, esto quiere decir que las poblaciones cercanas a ese punto serán inestables por ende en ese sentido tanto las dos poblaciones cendran un comportamiento de deserción inconstante y difícil de predecir su comportamiento . Por ultimo si:

$$C > \frac{LN}{4} \quad (3.33)$$

Eso quiere decir que la línea de fase no tiene ningún punto de equilibrio y todas las soluciones decrecen. Es decir el crecimiento de las poblaciones disminuyen por igual.(Graficado en una Diagrama de bifurcación se ve de la siguiente forma)*

La dirección de las flechas en el diagrama de bifurcación representa el comportamiento de las soluciones de la ecuación diferencial en función del parámetro C . Cuando el sistema tiende hacia un punto estable (atractor), las soluciones cercanas a ese punto convergen hacia él con el tiempo. Por otro lado, cuando el sistema se aleja de un punto estable (repulsor), las soluciones cercanas se alejan de él con el tiempo.

En nuestro diagrama, las flechas apuntan hacia arriba para los atractores (atractores) y hacia abajo para los repulsores. Esto se debe a que las soluciones convergen hacia los

*Este diagrama de bifurcación fue obtenido debido a la información de la siguiente cita no textual (?)

puntos estables desde arriba y divergen de los puntos estables hacia abajo en el espacio de fase. Por lo tanto, las flechas señalan la dirección del flujo en el espacio de fase correspondiente a cada valor de C .

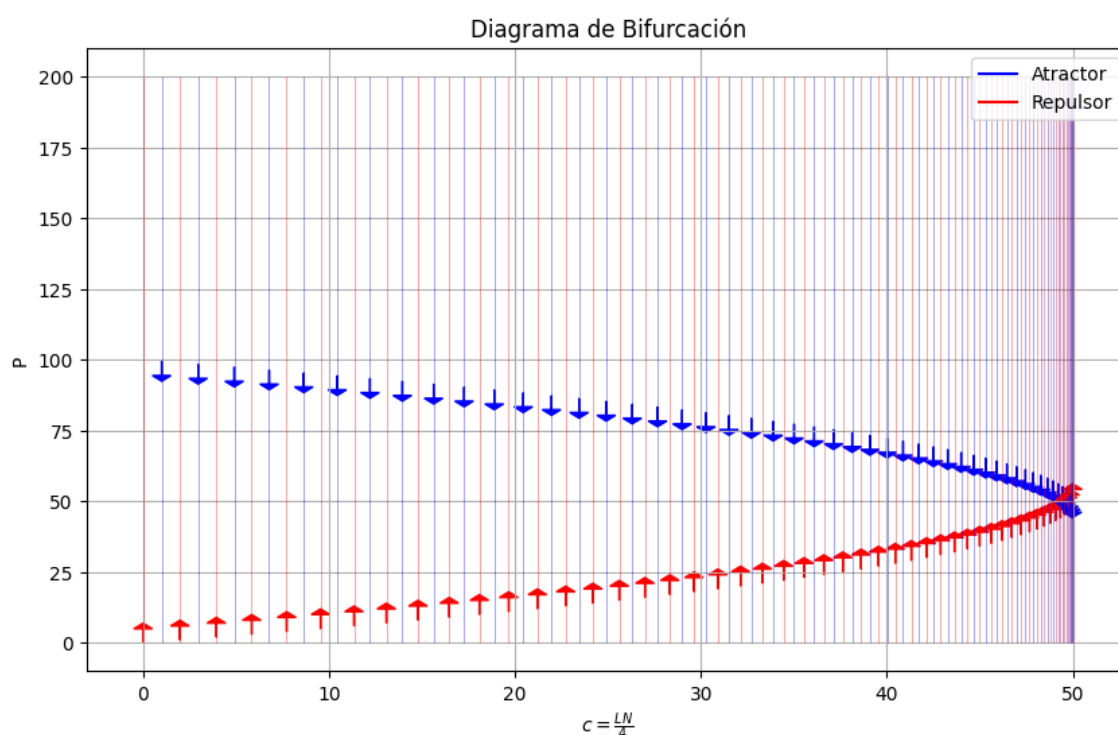


Figura 3.5: Diagrama de bifurcación de la constante (C)

En un sistema de ecuaciones poblacionales, como el que se describe para modelar la deserción estudiantil, un "punto de equilibrio" se refiere a un estado estable del sistema donde las tasas de entrada (por ejemplo, nuevos estudiantes) y de salida (por ejemplo, estudiantes que desertan) se igualan. En este contexto, podría interpretarse de la siguiente manera (7, p. 103):

- **Atractor:** Si el punto de equilibrio es un atractor, significa que el sistema tiende naturalmente hacia ese estado estable. Esto podría implicar que, en ausencia de perturbaciones externas significativas, la tasa de deserción y la tasa de nuevos ingresos de estudiantes convergen hacia un equilibrio estable. Esto podría ser positivo si el punto de equilibrio está asociado con una baja tasa de deserción.
- **Repulsor:** Si el punto de equilibrio es un repulsor, el sistema tiende a alejarse de ese estado estable. Esto podría implicar que, aunque inicialmente el sistema se acerca a ese punto de equilibrio, cualquier pequeña desviación del equilibrio resulta en un alejamiento del mismo. Esto podría ser problemático si el punto de equilibrio está asociado con una alta tasa de deserción.

En ambos casos, entender si el punto de equilibrio es un atractor o un repulsor puede proporcionar información valiosa sobre la dinámica del sistema y puede guiar políticas o intervenciones para influir en las tasas de deserción estudiantil. Los puntos fijos en un sistema de ecuaciones poblacionales representan las cantidades estables de la población estudiantil. Estos son los valores en los cuales las tasas de entrada y salida de estudiantes se equilibran, lo que significa que la población estudiantil no cambia con el tiempo en esas condiciones.

En el contexto de la deserción estudiantil, los puntos fijos podrían representar niveles estables de población estudiantil donde las tasas de deserción y las tasas de nuevos ingresos son iguales. Estos puntos indicarían los niveles de población estudiantil que el sistema tiende a alcanzar a largo plazo cuando no hay cambios significativos en las tasas de deserción o ingreso.

Identificar los puntos fijos en un sistema de ecuaciones poblacionales es importante porque proporcionan información sobre el comportamiento a largo plazo del sistema y pueden ser útiles para predecir tendencias futuras y diseñar estrategias para influir en esas tendencias, como políticas para reducir la deserción estudiantil o aumentar la retención.

3.3. Diagrama de flujo y supuestos

Continuando con el desarrollo de un modelo con el objetivo de representar las interacciones de dos poblaciones las cuales se encontraran diferenciadas en sus formas de aprender debido a que sufren del fenómeno denominado como deserción escolar a partir de su brecha digital que tipificará en dos agrupaciones, una concebida como nativos digitales y el otro colectivo como seres que no nacieron o no se formaron con las herramientas de digitalización modernas. Y que por medio de este modelo se intentará dar un seguimiento al desarrollo de estos diversos grupos en su entorno, relacionándose y provocando distintos resultados a esa conexión en estos grupos. Y explicando esto con herramientas de orden matemático, se tendrá un número de población denotado como $N(t)$ en tiempo t y que tendrá dos clases llamados como x que serán los que sufrirán de este anómalo conocido como “brecha digital” así como y que sera la clase que no sufrirá de brecha digital conocido como un nativo que domina la terminología de la digitalización. Y que para una mayor descripción de estas categorías, se propone en primer instancia plantearse las siguientes conjeturas:

x es la constante que ilustrara a la población que sufrirá de brecha digital, tendrá una α que se referirá a una tasa de crecimiento además de $-\beta xy$ se enlazara a la tasa de deserción escolar, y por ultimo dentro de este modulo habrá tres factores para que se de este hecho tales como en primer lugar, esta población presentara emociones productos de su malestar al sentirse encontrados en una dinámica de competencia a modo de supervivencia tal que generara una serie de problemáticas o conflictos llegando a su deserción dentro del espacio conjeturando fenómenos de decrecimiento en términos poblaciones, además de que la interacción dada por $-\gamma xy$ generara de igual forma, secuencias de decrecimiento debido a esta dinámica con seres los cuales ocasionara cuestiones de acoso en distintos ámbitos.

y es la clase llamada como los que no tiene o no sufren de esta brecha digital, así como un α que sera el coeficiente de la razón de crecimiento de esta misma clase y γxy que indicara también un crecimiento de esta misma ya que la clase que sufre de distanciamiento digital tendrá un constante crecimiento o avance tal que solo se antepondrá una forma de aprender, dentro de este modelo.

Se planteó el siguiente diagrama de flujo:

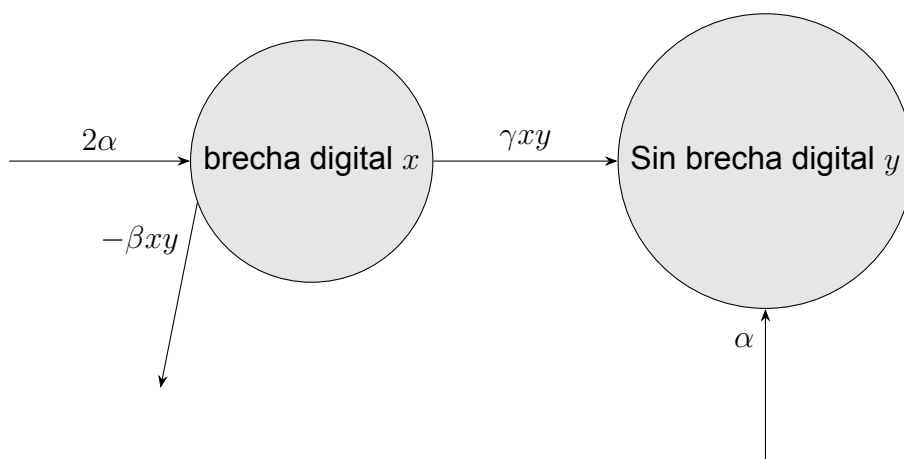


Figura 3.6: Diagrama de flujo para dos poblaciones

Así como las siguientes ecuaciones diferenciales continuas a partir de lo dicho:

$$\frac{dx}{dt} = 2\alpha - \beta xy - \gamma xy \quad (3.34)$$

$$\frac{dy}{dt} = \alpha + \gamma xy \quad (3.35)$$

3.4. Análisis del modelo

Similar a la propuesta en (18), se desea hacer una introspección a nuestro modelo en tal sentido de que se busca una cierta coherencia al momento de referirnos a poblaciones, es por ello que se es necesario hablar de operaciones o estados de variables positivas y no negativas. $\forall t \geq 0$.

Teorema 1. *Dadas las poblaciones iniciales del modelo (3.34 y 3.35) $x(0), y(0) > 0$. Entonces $x(t), y(t) > 0$ serán positivas $\forall t \geq 0$.*

Demostración. Del sistema de ecuaciones (4.40) consideramos la primera ecuación:

$$\frac{dx}{dt} = 2\alpha - (\beta y + \gamma y)x \quad (3.36)$$

Si considerando solo el termino negativo e ignoramos el resto de la ecuación a:

$$\frac{dx}{dt} \geq -(\beta y + \gamma y)x \quad (3.37)$$

Nos da como resultado una inecuación diferencial de orden lineal, la cual se puede resolver

con el método de separación de variables $y' = f(x)g(y)$. Donde $x \geq 0$ resultando:

$$\int_{x(0)}^{x(t)} \frac{dx}{x} \geq - \int_0^t (\beta y + \gamma y) dt, \quad x(t) \geq x(0)e^{-(\beta+\gamma)ty} \quad (3.38)$$

La expresión matemática mostrada se puede interpretar en el contexto de poblaciones relacionadas en que padecen del hecho nombrado como brecha digital y la agrupación nombrada como sin brecha digital, junto con una tasa de interacción dada por $(\beta y + \gamma)$. Dicha interpretación es la siguiente:

- $x(t)$ representa la población total en el momento t que se encuentra en la categoría de "brecha digital".
- $x(0)$ representa la población inicial en la categoría de "brecha digital" en el momento $t = 0$.
- y representa la población en la categoría de "sin brecha digital".
- $\int_{x(0)}^{x(t)} \frac{dx}{x}$ es la integral definida de la tasa de cambio relativa de la población en la categoría de "brecha digital". En otras palabras, está relacionada con cómo la población en esta categoría está cambiando con respecto al tiempo.
- $-\int_0^t (\beta y + \gamma y) dt$ representa la integral definida de la tasa de interacción entre la población sin brecha digital y la población brecha digital a lo largo del tiempo t . Esta parte de la ecuación describe cómo la población en la categoría de sin brecha digital está influyendo en la población de brecha digital a medida que pasa el tiempo.
- $x(t) \geq x(0)e^{-(\beta+\gamma)ty}$ establece una relación entre la población en la categoría de brecha digital en el momento t y su valor inicial. Muestra que la población en la categoría de brecha digital en el futuro ($x(t)$) debe ser mayor o igual que su valor inicial multiplicado por un factor exponencial que depende de la tasa de interacción $(\beta + \gamma)$ y del tiempo t .

Comprendiendo este lenguaje matemático en un sentido más analítico se puede exponer como una relación entre las poblaciones con brecha digital y sin brecha digital, teniendo en cuenta cómo cambian con el tiempo y cómo interactúan entre sí. La desigualdad establece una condición sobre cómo la población en la categoría de brecha digital puede evolucionar en función de su valor inicial y la tasa de interacción con la población sin brecha digital.

Explicando más a profundidad la expresión:

$$x(0)e^{-(\beta+\gamma)ty} \quad (3.39)$$

Se obtiene de integrar:

$$\int_{x(0)}^{x(t)} \frac{dx}{x} \geq - \int_0^t (\beta y + \gamma y) dt \quad (3.40)$$

En el contexto de la ecuación original. Se considera la integral:

$$\int \frac{dx}{x} \quad (3.41)$$

Que tiene solución:

$$\ln |x| + C \quad (3.42)$$

Donde: C es una constante de integración. Aplicando esto a la ecuación original, tenemos:

$$\ln |x(t)| - \ln |x(0)| \geq - \int_0^t (\beta y + \gamma y) dt \quad (3.43)$$

Esto se puede simplificar a:

$$\ln \left| \frac{x(t)}{x(0)} \right| \geq - \int_0^t (\beta y + \gamma y) dt \quad (3.44)$$

Ahora, para eliminar el logaritmo, podemos aplicarle exponente a ambos lados (ya que es una función creciente que respeta dicha desigualdad) de la desigualdad:

El logaritmo natural \ln se elimina, aplicando la exponencial en ambos lados de la desigualdad.

$$e^{\ln \left| \frac{x(t)}{x(0)} \right|} \geq e^{- \int_0^t (\beta y + \gamma y) dt} \quad (3.45)$$

Cuando aplicamos la función exponencial e al logaritmo natural \ln , estas dos operaciones se anulan mutuamente, y queda:

$$\left| \frac{x(t)}{x(0)} \right| \geq e^{- \int_0^t (\beta y + \gamma y) dt} \quad (3.46)$$

Dado que $x(t)$ y $x(0)$ son positivos (representando poblaciones), podemos quitar los valores absolutos:

$$\frac{x(t)}{x(0)} \geq e^{- \int_0^t (\beta y + \gamma y) dt} \quad (3.47)$$

Finalmente, para expresar la población $x(t)$ en función de su valor inicial $x(0)$ y la tasa de interacción $\beta y + \gamma y$, multiplicamos ambos lados por $x(0)$:

$$x(t) \geq x(0) e^{- \int_0^t (\beta y + \gamma y) dt} \quad (3.48)$$

Esto es lo que da la expresión:

$$x(0)e^{-(\beta+\gamma)ty} \quad (3.49)$$

Es decir, que establece una relación entre la población en el momento t y su valor inicial en función de la tasa de interacción $\beta y + \gamma y$ a lo largo del tiempo.

Los casos en donde halla una ausencia de deserción por brecha digital solo crecería la población de los de Sin brecha digital:

$$x(t) \geq x(0)e^{-(\beta+\gamma)ty}, \forall t > 0 \quad (3.50)$$

Esta expresión matemática describe una situación en la que la población total $x(t)$ en un determinado momento t es mayor o igual a su valor inicial $x(0)$ multiplicado por un factor exponencial $e^{-\gamma y t}$, donde γ sera parámetros constantes, y t es el tiempo.

En términos de interpretación, se podría analizar lo siguiente:

En casos en los que no hay deserción debido a la “brecha digital”, la población total tiende a crecer con el tiempo. La población total en el momento t $x(t)$ es mayor o igual a la población inicial $x(0)$, multiplicada por un factor exponencial que depende de la tasa de crecimiento negativa γy y del tiempo t . Esto significa que, con el tiempo, la población total tiende a aumentar, y la población de “sin brecha digital” (y) contribuye a ese crecimiento. En el contexto de la expresión $x(t) \geq x(0)e^{-\gamma y t}$, cuando no hay deserción debido a la brecha digital y la población de sin brecha digital y es positiva, contribuye al crecimiento de la población total $x(t)$ en el tiempo. Y siendo similar para la ecuación diferencial de la y .

□

* Por otro lado, si la población de brecha digital estuviera presente y aumentara, podría influir en que la población total ($x(t)$) disminuya, especialmente si la tasa de interacción entre las poblaciones (representada por γy) es lo suficientemente alta como para superar el crecimiento debido a la población sin brecha digital. En este caso, la presencia de la brecha digital podría tener un efecto negativo en el crecimiento de la población total.

En conclusión, la población sin brecha digital puede ayudar al crecimiento de la población total, pero la presencia de la población brecha digital y la tasa de interacción entre las poblaciones son factores que pueden influir en la dinámica del crecimiento o disminución de la población total con el tiempo.

Graficando dicha solución y con los siguientes parámetros se obtendría lo consecuente;

*En ese caso, las ecuaciones modelarían cómo la población y afecta a x a lo largo del tiempo bajo las influencias de las tasas de decrecimiento (β y γ).

```
1 # Condiciones iniciales
2 X0 = 10000000 # Condicion inicial
3 gamma = 0.1 # Parametro gamma
```

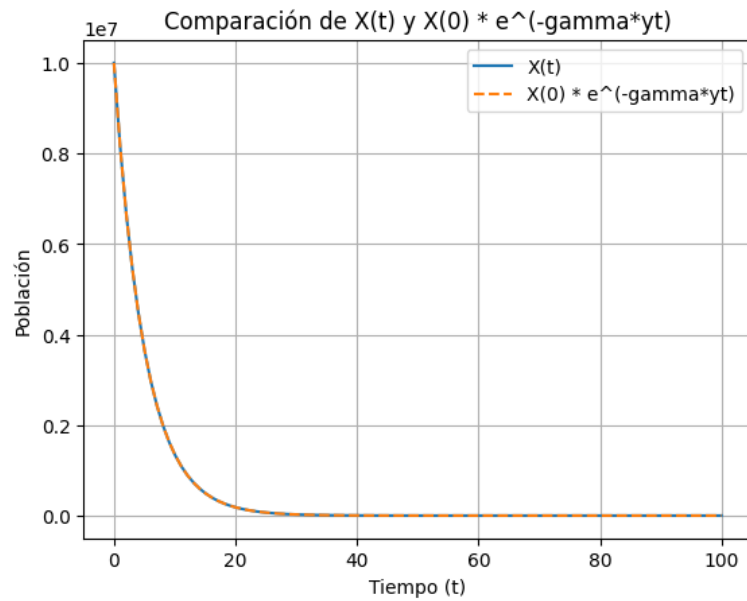


Figura 3.7: Solución en relación a la disminución de la agrupación de brecha digital por la interacción de su población que no tiene brecha digital

Y variando el coeficiente de γ el cual dictamina la relación entre las dos poblaciones donde la población de brecha digital disminuye cuando se relaciona con la otra agrupación, representa lo siguiente:

```
1 # Condiciones iniciales
2
3 X0 = 10000000 # Poblacion inicial de x
4 y = 2 # Poblacion de y
5 gamma_values = [0, 0.01, 0.02, 0.3,0.9] # Variacion del parametro gamma
```

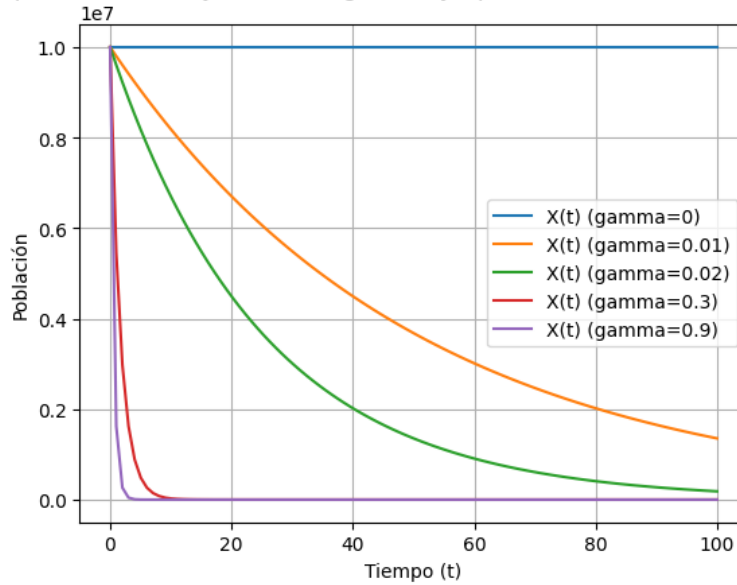
Comparación de $X(t)$ y $X(0) * e^{-\gamma t}$ para diferentes valores de γ 

Figura 3.8: Solución en relación a la disminución de la agrupación de brecha digital por la interacción de su población que no tiene brecha digital variando el parámetro γ

En la gráfica se observa que a medida que el coeficiente de interacción aumenta, la población disminuye gradualmente pero no alcanza la extinción. Este fenómeno sugiere que, aunque la interacción entre individuos pueda afectar negativamente el tamaño de la población, existen factores que aún permiten cierto nivel de persistencia.

3.5. Análisis de sensibilidad para el primer sistema de EDO.

Para realizar un análisis de sensibilidad de un sistema de ecuaciones diferenciales podemos utilizar las derivadas parciales para determinar cómo pequeñas variaciones en los parámetros α , β , y γ afectan las tasas de cambio $\frac{dx}{dt}$ y $\frac{dy}{dt}$. A continuación, realizaremos este análisis de sensibilidad para este sistema.

Retomando el sistema de ecuaciones diferenciales planteado es el siguiente:

$$\frac{dx}{dt} = 2\alpha - \beta xy - \gamma xy \quad (3.51)$$

$$\frac{dy}{dt} = \alpha + \gamma xy \quad (3.52)$$

Primero, se calcula las derivadas parciales de $\frac{dx}{dt}$ y $\frac{dy}{dt}$ con respecto a α , β , y γ :

Sensibilidad con respecto a α :

$$\frac{\partial}{\partial \alpha} \left(\frac{dx}{dt} \right) = 2 \quad (3.53)$$

$$\frac{\partial}{\partial \alpha} \left(\frac{dy}{dt} \right) = 1 \quad (3.54)$$

Como se duplica el valor de α , la tasa de cambio de $\frac{dx}{dt}$ con respecto a α será el doble de la tasa de cambio con respecto a α , mientras que la tasa de cambio de $\frac{dy}{dt}$ con respecto a α permanecerá sin cambios.

Sensibilidad con respecto a β :

$$\frac{\partial}{\partial \beta} \left(\frac{dx}{dt} \right) = -xy \quad (3.55)$$

La derivada parcial con respecto a β indica que un aumento en β resultará en una disminución de $\frac{dx}{dt}$ si xy es positivo. Por el contrario, si xy es negativo, un aumento en β resultará en un aumento de $\frac{dx}{dt}$. En resumen, para que $\frac{dx}{dt}$ disminuya con un aumento en β , es necesario que xy sea positivo. Lo cual sucede en nuestro modelo.

No hay dependencia con β en la ecuación $\frac{dy}{dt}$, por lo que la derivada parcial es cero. Esto implica que β no afecta directamente la tasa de cambio $\frac{dy}{dt}$.

Sensibilidad con respecto a γ :

$$\frac{\partial}{\partial \gamma} \left(\frac{dx}{dt} \right) = -xy \quad (3.56)$$

$$\frac{\partial}{\partial \gamma} \left(\frac{dy}{dt} \right) = xy \quad (3.57)$$

La derivada parcial con respecto a γ en la ecuación $\frac{dx}{dt}$ indica que un aumento en γ disminuirá $\frac{dx}{dt}$, mientras que la derivada parcial en la ecuación $\frac{dy}{dt}$ indica que un aumento en γ aumentará $\frac{dy}{dt}$.

En pocas palabras, estas derivadas parciales permiten comprender cómo pequeños cambios en los parámetros α , β , y γ afectarán las tasas de cambio $\frac{dx}{dt}$ y $\frac{dy}{dt}$ en este sistema de ecuaciones diferenciales. Vale la pena utilizar datos reales en donde se pueda utilizar esta información para realizar un análisis de sensibilidad y evaluar el impacto de variaciones en los parámetros en el comportamiento del sistema.

3.6. Sistema de EDO para tres poblaciones.

Se plantearon las siguientes ecuaciones diferenciales continuas a partir de lo dicho:

x es la constante que ilustrara a la población que sufrirá brecha digital, tendrá un α que se referirá a una tasa de crecimiento además de βx se enlazara a la tasa de deserción escolar, y por ultimo dentro de este módulo habrá tres factores para que se de este hecho tales como en primer lugar, esta población presentara emociones productos de su malestar al sentirse encontrados en una dinámica de competencia a modo de supervivencia tal que generara una serie de problemáticas o conflictos llegando a su deserción dentro del espacio conjeturando fenómenos de decrecimiento en términos poblaciones, además de que la interacción dada por γxy generara de igual forma secuencias de decrecimiento debido a esta dinámica con seres los cuales ocasionara cuestiones de acoso en distintos ámbitos. Por ultimo esta población como la etiquetada como sin brecha digital x posaran un tasa de $\delta(u + v)$ siendo este último termino el que dictaminara como a partir de una interacción distinta con los social media provocaran un decaimiento en esta población para transmutarse en un grupo con características de aprendizaje más progresivas y constante, tal ves no con características intensivas pero con respuestas mas gradientes en la forma de absorber nuevos conocimientos.

y es la clase llamada como los que no tiene o no sufren de esta brecha digital, así como α . Como coeficiente de la razón de crecimiento de esta misma clase y γxy indicara un crecimiento de esta mismas ya que la clase que sufre de distanciamiento digital tendrá un

constante proceso tal que solo se antepondrá una forma de aprender, dentro de este modelo. De igual forma compartirá una tasa negativa en forma de $\delta(x + y)$ que cumplirá con los mismos objetivos que con la anterior población.

z es la población que será protagonista al momento de hablar en forma de una intersección de las pasadas dos poblaciones, y que será el ejemplo de una colectividad utópica donde su interiorización e integración de nuevos conocimientos asociados a las tecnologías emergentes, así como su relación a la brecha digital hallará un estado de equilibrio, por ello y de forma homogénea tendrá una tasa de crecimiento de población α y de deserción βz , y en donde obtendrá una tasa dada por la interacción de factores que gozara como una serie de formas de aprendizaje que cumplan con el objetivos de aprender de manera progresiva o escalonada, dados por $\delta(x + y)$.

Por lo anterior se planteo el siguiente diagrama de flujo:

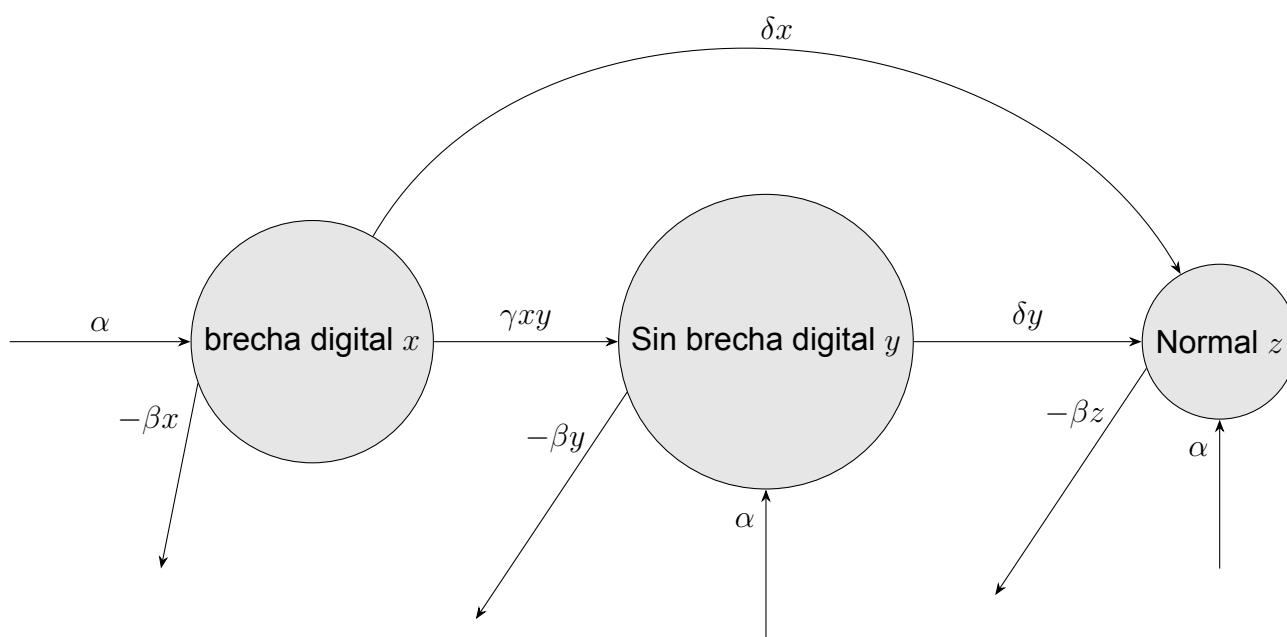


Figura 3.9: Diagrama de flujo para tres poblaciones

Así como el siguiente sistema de ecuaciones diferenciales:

$$\frac{dx}{dt} = \alpha - \beta x - \gamma xy - \delta(x + y) \quad (3.58)$$

$$\frac{dy}{dt} = \alpha - \beta y + \gamma xy - \delta(x + y) \quad (3.59)$$

$$\frac{dz}{dt} = \alpha - \beta z + \delta(x + y) \quad (3.60)$$

En su forma como gráfica tridimensional se observaría cómo la población en general tiene procesos de decrecimiento indicado por el color azul y de crecimiento marcado por el color rojo:

Superficie tridimensional con la cuarta dimensión como la suma de las poblaciones

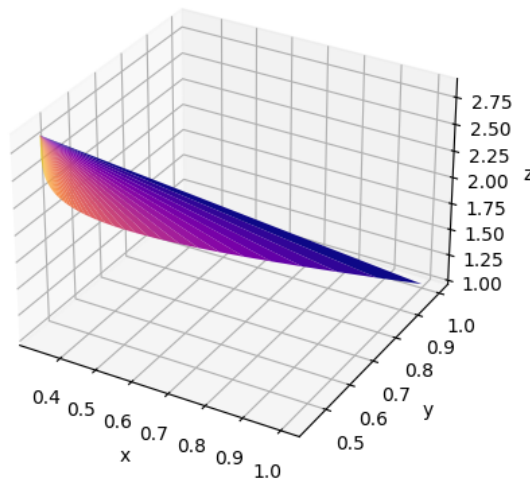


Figura 3.10: Gráfica tridimensional de tres poblaciones

3.6.1. Análisis del Modelo para otro nuevo sistema de EDO de tres poblaciones

Similar a la propuesta en (18), se desea hacer una introspección a nuestro modelo en tal sentido en que se busca una cierta coherencia al momento de referirnos a poblaciones, es por ello que se es necesario hablar de operaciones o estados de variables positivas y no negativas $\forall t \geq 0$.

Teorema 2. Dadas las poblaciones iniciales del modelo (3.58, 3.59 y 3.60) $x(0), y(0), z(0) > 0$. Entonces $x(t), y(t), z(t) > 0$ serán positivas $\forall t \geq 0$.

Demostración. Demostración: Del sistema de ecuaciones (3.58, 3.59 y 3.60) consideramos la primera ecuación:

$$\frac{dx}{dt} = \alpha - (\beta + \gamma y)x \quad (3.61)$$

Considerando el termino negativo e ignoramos el resto de la ecuación sera reducido a:

$$\frac{dx}{dt} \geq -(\beta + \gamma y)x \quad (3.62)$$

Nos da como resultado una inecuación diferencial de orden lineal, la cual se puede resolver con el método de separación de variables $y' = f(x)g(y)$. Donde $x \geq 0$ resultando:

$$\int_{X(0)}^{X(t)} \frac{dx}{x} \geq - \int_0^t (\beta + \gamma y) dt, \quad x(t) \geq x(0)e^{-(\beta + \gamma y)t} \quad (3.63)$$

La expresión matemática se puede interpretar en el contexto de poblaciones relacionadas con la “brecha digital” y la “sin brecha digital”, junto con una tasa de interacción dada. Aquí está la interpretación:

- $x(t)$ representa la población total en el momento t que se encuentra en la categoría de “brecha digital”.
- $x(0)$ representa la población inicial en la categoría de “brecha digital” en el momento $t = 0$.
- y representa la población en la categoría de “sin brecha digital”.
- $\int_{X(0)}^{X(t)} \frac{dx}{x}$ es la integral definida de la tasa de cambio relativa de la población en la categoría de “brecha digital”. En otras palabras, está relacionada con cómo la población en esta categoría está cambiando con respecto al tiempo.

- $-\int_0^t (\beta + \gamma y) dt$ representa la integral definida de la tasa de interacción entre la población sin brecha digital y la población brecha digital a lo largo del tiempo t . Esta parte de la ecuación describe cómo la población en la categoría de sin brecha digital está influyendo en la población de brecha digital a medida que pasa el tiempo.
- $x(t) \geq x(0)e^{-(\beta+\gamma y)t}$ establece una relación entre la población en la categoría de brecha digital en el momento t y su valor inicial. Muestra que la población en la categoría de brecha digital en el futuro $x(t)$ debe ser mayor o igual que su valor inicial multiplicado por un factor exponencial depende de la tasa de interacción $(\beta + \gamma y)t$ y del tiempo t .

En resumen, esta expresión matemática puede interpretarse como una relación entre las poblaciones con brecha digital y sin brecha digital, teniendo en cuenta cómo cambian con el tiempo y cómo interactúan entre sí. La desigualdad establece una condición sobre cómo la población en la categoría de “brecha digital” puede evolucionar en función de su valor inicial y la tasa de interacción con la población “sin brecha digital”.

La expresión:

$$x(0)e^{-(\beta+\gamma y)t} \quad (3.64)$$

Se obtiene a través de integrar:

$$\int_{x(0)}^{x(t)} \frac{dx}{x} \geq -\int_0^t (\beta + \gamma y) dt \quad (3.65)$$

En el contexto de la ecuación original. Se considera la integrar:

$$\int \frac{dx}{x} \quad (3.66)$$

Que tiene solución:

$$\ln |x| + C \quad (3.67)$$

Donde: C es una constante de integración. Aplicando esto a la ecuación original, tenemos:

$$\ln |x(t)| - \ln |x(0)| \geq -\int_0^t (\beta + \gamma y) dt \quad (3.68)$$

Esto se puede simplificar a:

$$\ln \left| \frac{x(t)}{x(0)} \right| \geq -\int_0^t (\beta + \gamma y) dt \quad (3.69)$$

Ahora, para eliminar el logaritmo, podemos aplicar exponentes a ambos lados de la desigualdad:

El logaritmo natural \ln se puede eliminar aplicando una operación exponencial en ambos lados de la desigualdad.

$$e^{\ln \left| \frac{x(t)}{x(0)} \right|} \geq e^{-\int_0^t (\beta + \gamma y) dt} \quad (3.70)$$

Cuando aplicas la función exponencial e al logaritmo natural \ln , estas dos operaciones se anulan mutuamente, y queda:

$$\left| \frac{x(t)}{x(0)} \right| \geq e^{-\int_0^t (\beta + \gamma y) dt} \quad (3.71)$$

Dado que $x(t)$ y $x(0)$ son positivos (representando poblaciones), podemos quitar los valores absolutos:

$$\frac{x(t)}{x(0)} \geq e^{-\int_0^t (\beta + \gamma y) dt} \quad (3.72)$$

Finalmente, para expresar la población $x(t)$ en función de su valor inicial $x(0)$ y la tasa de interacción $\beta + \gamma y$, multiplicamos ambos lados por $x(0)$:

$$x(t) \geq x(0)e^{-\int_0^t (\beta + \gamma y) dt} \quad (3.73)$$

Esto es lo que da la expresión:

$$x(t) \geq x(0)e^{-(\beta + \gamma y)t} \quad (3.74)$$

Es decir, que establece una relación entre la población en el momento t y su valor inicial en función de la tasa de interacción $\beta + \gamma y$ a lo largo del tiempo.

En los casos en donde halla una ausencia de deserción por brecha digital solo crecería la población de los de sin brecha digital:

$$x(t) \geq x(0)e^{-\beta t}, \forall t \geq 0. \quad (3.75)$$

Esta expresión matemática describe una situación en la que la población total $x(t)$ en un determinado momento t es mayor o igual a su valor inicial $x(0)$ multiplicado por un factor exponencial $e^{-\gamma t}$, donde γ es un parámetro constante, y t es el tiempo.

En términos de interpretación, podrías decir lo siguiente:

En casos en los que no hay deserción debido a la “brecha digital”, la población total

tiende a crecer con el tiempo. La población total en el momento t ($x(t)$) es mayor o igual a la población inicial $x(0)$ multiplicada por un factor exponencial decreciente que depende de la tasa de crecimiento negativa γ y del tiempo t . Esto significa que, con el tiempo, la población total tiende a aumentar, y la población de “sin brecha digital” (y) contribuye a ese crecimiento. En el contexto de la expresión $x(t) \geq e^{-\gamma y t}$, cuando no hay deserción debido a la “brecha digital” y la población de sin brecha digital (y) es positiva, contribuye al crecimiento de la población total $x(t)$ con el tiempo. Para y y z es semejante el análisis.

□

Por otro lado, si la población de “brecha digital” estuviera presente y aumentara, podría influir en que la población total $x(t)$ disminuya, especialmente si la tasa de interacción entre las poblaciones (representada por γy) es lo suficientemente alta como para superar el crecimiento debido a la población “sin brecha digital”. En este caso, la presencia de la “brecha digital” podría tener un efecto negativo en el crecimiento de la población total.

En conclusión, la población “sin brecha digital” puede ayudar al crecimiento de la población total, pero la presencia de la población “brecha digital” y la tasa de interacción entre las poblaciones son factores que pueden influir en la dinámica del crecimiento o disminución de la población total con el tiempo.

3.7. Análisis de sensibilidad de otro sistema de ecuaciones diferenciales de dos poblaciones

Para realizar un análisis de sensibilidad de un sistema de ecuaciones diferenciales como el que has proporcionado, puedes utilizar las derivadas parciales para determinar cómo pequeñas variaciones en los parámetros, α , β , y γ afectan las tasas de cambio $\frac{dx}{dt}$ y $\frac{dy}{dt}$. A continuación, te mostraré cómo realizar un análisis de sensibilidad para este sistema.

El sistema de ecuaciones diferenciales que has dado es el siguiente:

$$\frac{dx}{dt} = \alpha - \beta x - \gamma xy \quad (3.76)$$

$$\frac{dy}{dt} = \alpha - \beta y + \gamma xy \quad (3.77)$$

Primero, calcula las derivadas parciales de $\frac{dx}{dt}$ y $\frac{dy}{dt}$ con respecto a α , β , y γ :

Sensibilidad con respecto a α :

$$\frac{\partial}{\partial \alpha} \left(\frac{dx}{dt} \right) = 1 \quad (3.78)$$

$$\frac{\partial}{\partial \alpha} \left(\frac{dy}{dt} \right) = 1 \quad (3.79)$$

Si el valor de α se mantiene constante, entonces la tasa de cambio de x con respecto al tiempo $\frac{dx}{dt}$ y la tasa de cambio de y con respecto al tiempo $\frac{dy}{dt}$ no se verán afectadas por cambios en α . Es decir, para este sistema de ecuaciones la α en las tasas de cambio $\frac{dx}{dt}$ y $\frac{dy}{dt}$ seguirán siendo las mismas. Es decir si el valor de α se multiplica por un factor k , entonces la tasa de cambio de x con respecto al tiempo $\frac{dx}{dt}$ y la tasa de cambio de y con respecto al tiempo $\frac{dy}{dt}$ se multiplicarán por el mismo factor k . En otras palabras, si α se duplica (es decir, se convierte en 2α), las tasas de cambio $\frac{dx}{dt}$ y $\frac{dy}{dt}$ también se duplicarán. Esto se aplica para cualquier valor de k y para cualquier número de elementos, lo que implica que α tiene el mismo efecto en ambas tasas de cambio.

$$\frac{\partial}{\partial \beta} \left(\frac{dx}{dt} \right) = -x \quad (3.80)$$

$$\frac{\partial}{\partial \beta} \left(\frac{dy}{dt} \right) = -y \quad (3.81)$$

La derivada parcial de $\frac{dx}{dt}$ con respecto a β es $-x$, mientras que la derivada parcial de

$\frac{dy}{dt}$ con respecto a β es $-y$. Esto indica que un aumento en el parámetro β resultará en una disminución en $\frac{dx}{dt}$ si x o y son positivos, y viceversa. En otras palabras, un incremento en β tenderá a reducir las tasas de cambio $\frac{dx}{dt}$ y $\frac{dy}{dt}$ si x o y son positivos, y a aumentarlas si x o y son negativos.

Sensibilidad con respecto a γ :

$$\frac{\partial}{\partial \gamma} \left(\frac{dx}{dt} \right) = -xy \quad (3.82)$$

$$\frac{\partial}{\partial \gamma} \left(\frac{dy}{dt} \right) = xy \quad (3.83)$$

La derivada parcial con respecto a γ en la ecuación $\frac{dx}{dt}$ indica que un aumento en γ disminuirá $\frac{dx}{dt}$, mientras que la derivada parcial en la ecuación $\frac{dy}{dt}$ indica que un aumento en γ aumentará $\frac{dy}{dt}$.

En resumen, estas derivadas parciales te permiten comprender cómo pequeños cambios en los parámetros α , β , y γ afectarán las tasas de cambio $\frac{dx}{dt}$ y $\frac{dy}{dt}$ en tu sistema de ecuaciones diferenciales. Puedes utilizar esta información para realizar un análisis de sensibilidad y evaluar el impacto de variaciones en los parámetros en el comportamiento del sistema.

3.8. Soluciones numéricas

A continuación, partiendo del modelo previo que considera únicamente dos poblaciones, proponemos realizar las siguientes soluciones numéricas utilizando el método de Runge-Kutta. El objetivo es observar el crecimiento y decrecimiento de ambas poblaciones, representándolas gráficamente mediante la herramienta Python. En este análisis, variaremos tres parámetros clave para generar conclusiones diversas sobre el fenómeno estudiado en este escrito:

En primer lugar, examinaremos el comportamiento de ambos grupos, denominados x (con brecha digital) y y (sin brecha digital). Los parámetros se presentan de la siguiente manera:

```

1 N = 1.0
2 alpha = 0.1
3 beta = 0.01
4 gamma = 0.01

```

En este contexto, al establecer una tasa de crecimiento de población α relativamente alta (en comparación con las tasas subsiguientes), así como una tasa de deserción β debido a factores externos a la brecha digital, que es comparativamente pequeña, y una tasa γ de decrecimiento para x pero de crecimiento para y baja, obtenemos la siguiente representación:

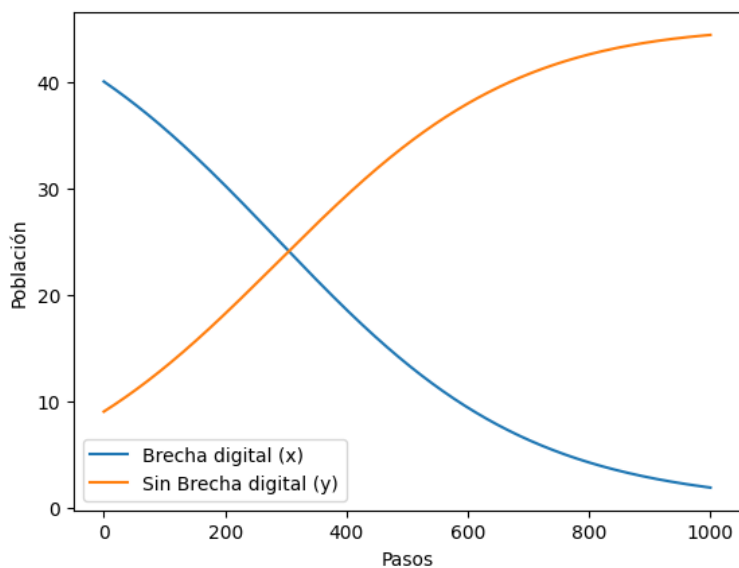


Figura 3.11: Representación gráfica del crecimiento de la población brecha digital y sin brecha digital.

Por otro lado, en el caso contrario, cuando no hay coeficientes de deserción β ni valores de γ , podemos observar lo siguiente:

```
1 N = 1.0
2 alpha = 1
3 beta = 0.00
4 gamma = 0.00
```

Entonces, en este contexto de resiliencia, donde ambas poblaciones enfrentan las adversidades y no experimentan procesos de abandono escolar, la población que antes no dominaba las tecnologías y enfrentaba dificultades en su vida diaria, supera esas diferencias y mejora su rendimiento. Es en este escenario donde la población afectada por la brecha digital comienza a superar esta situación, lo que se refleja en un crecimiento de dicha población, como se muestra a continuación:

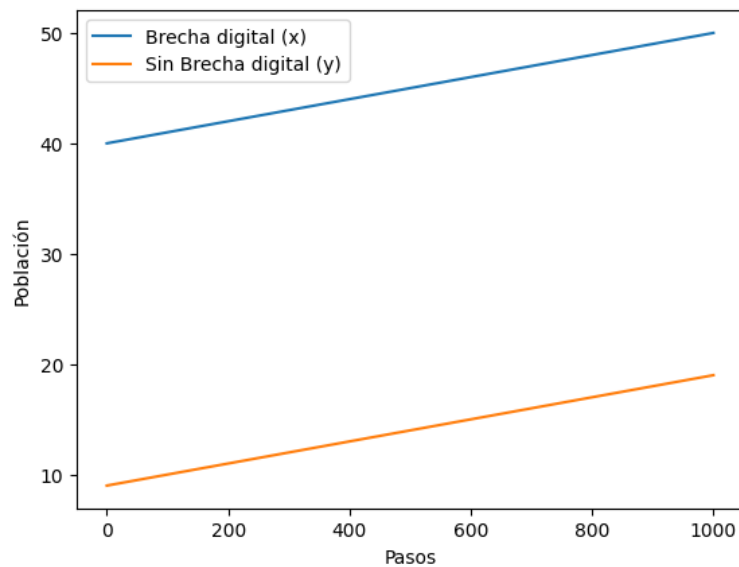


Figura 3.12: Representación gráfica del crecimiento de la población brecha digital y sin brecha digital sin coeficientes de abandono escolar

Entonces, una vez entendida la importancia de estos tres parámetros y su influencia en la dinámica de la brecha digital, se propone explorar la variación del parámetro α en función de los siguientes coeficientes observados:

```

1 N = 1.0
2 x0 = 40
3 y0 = 9
4 h = 0.01
5 num_steps = 1000
6 alpha_values = [0.9, 0.05, 0.03]
7 beta = 0.04
8 gamma = 0.01

```

En primer lugar, es importante destacar que tanto β como γ serán valores constantes, lo que significa que no variarán de manera proporcional a α . Por otro lado, el comportamiento de las agrupaciones será reflejado de la siguiente manera en relación con las variaciones de α :

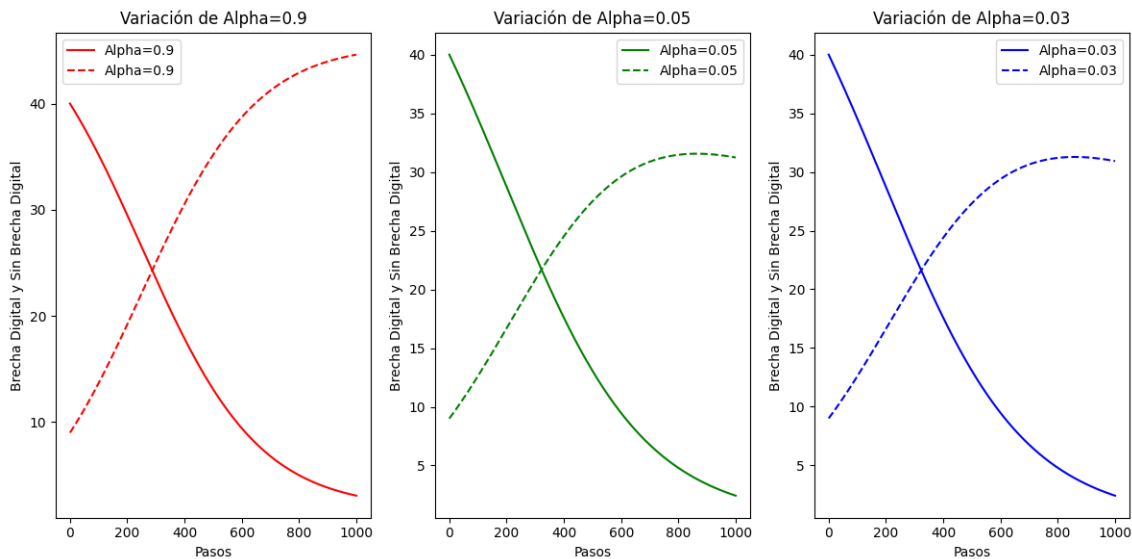


Figura 3.13: Representación gráfica del crecimiento de la población brecha digital y sin brecha digital donde el coeficiente alfa varia.

Similar a las propuestas respecto a las tasas de crecimiento, ahora enfocadas en las tasas de decrecimiento demográfico. Como preludeo, considerando la tasa β con sus propias formas de variabilidad, mientras α y γ permanecen constantes, se obtiene lo siguiente:

```

1 N = 1.0
2 x0 = 40
3 y0 = 9
4 h = 0.01
5 num_steps = 1000
6 beta_values = [0.9, 0.02, 0.03]
7 alpha = 0.3
8 gamma = 0.02

```

Y graficado a continuación:

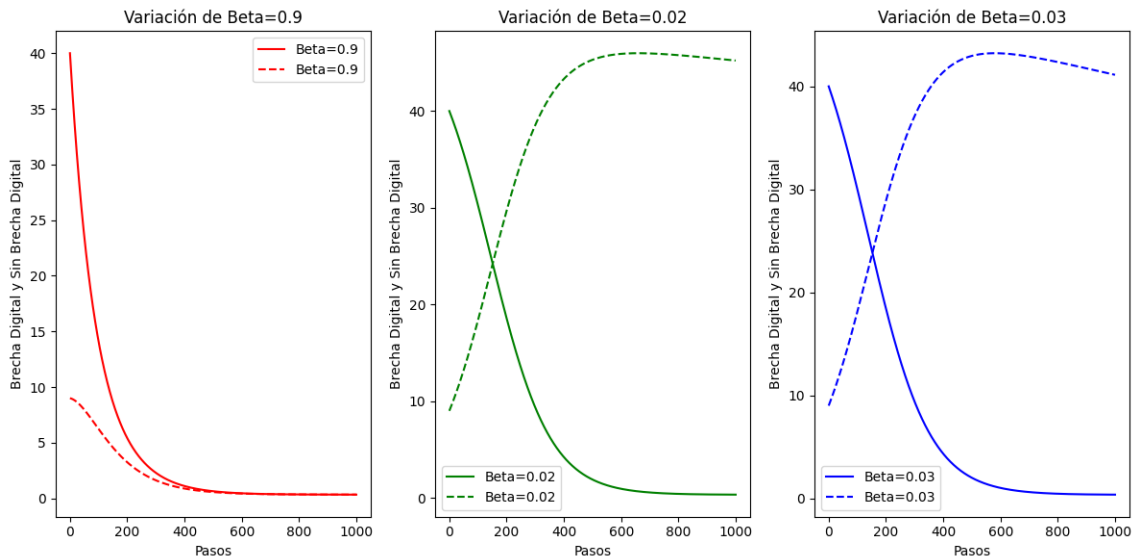


Figura 3.14: Representación gráfica del crecimiento de la población brecha digital y sin brecha digital, variando los parámetros de beta

Donde se puede observar que para un coeficiente de deserción β lo suficientemente alto, como por ejemplo 0.9, tanto las poblaciones con brecha digital como las que no la tienen desertarán debido a factores no específicamente relacionados con la brecha digital, afectando de manera equivalente a ambos grupos.

Es decir, si la deserción por factores externos es demasiado alta debido a una falta de atención al estado académico de las poblaciones en un entorno escolar, entonces las poblaciones disminuirán en número, no por factores asociados a la brecha digital, sino por factores externos al tema que se estudia en este trabajo.

A continuación se representará la variabilidad del último parámetro, γ , mientras no se varían α y β de la siguiente manera:

```
1 N = 1.0
2 x0 = 20
3 y0 = 9
4 h = 0.01
5 num_steps = 1000
6 gamma_values = [0.07, 0.02, 0.03]
7 alpha = 0.3
8 beta = 0.02
```

Partiendo de dicho indicador γ , si este es muy alto, será más notable el decrecimiento de la población de brecha digital debido a la deserción escolar provocada por el factor de exclusión que se genera a través de la interacción de un grupo que se ve afectado por diversas razones relacionadas con la competitividad feroz en el aula. Esto genera una percepción importante de deficiencia o menoscabo en una población en comparación con otra. Podemos considerar una semántica asociada a una deserción por falta de adaptación al uso de herramientas digitales desde un análisis de colectividad, aunque también se deben tener en cuenta las diferencias individuales multidimensionales de cada persona que experimenta esta situación.

Este comportamiento se refleja de la siguiente manera:

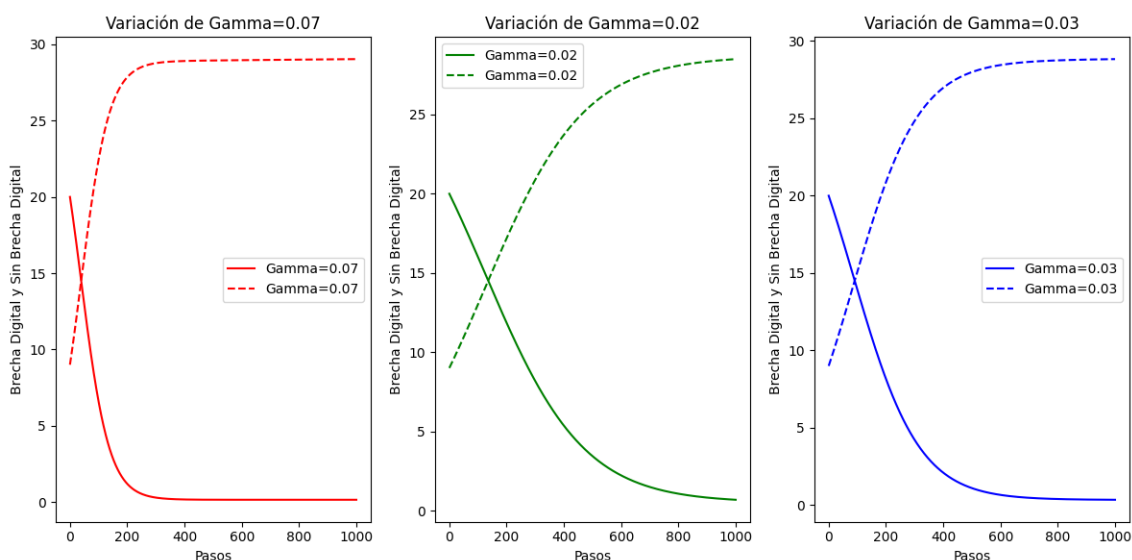


Figura 3.15: Representación gráfica del crecimiento de la población brecha digital y sin brecha digital, variando el parámetro gamma

Por último, se decidió representar por separado el comportamiento de los grupos de brecha digital (x) y sin brecha digital (y), variando completamente los parámetros. Se puede observar en forma de lista que abarca desde un análisis de sus tasas de crecimiento α , de decrecimiento β por factores externos, y de disminución para x y aumento para y , denotado por γ a continuación:

- Tasa de crecimiento α :
- Tasa de decrecimiento β por factores externos:
- Tasa de disminución para x y aumento para y (γ):

```

1 N = 1
2 x0 = 40
3 y0 = 9
4 h = 0.01
5 num_steps = 1000
6
7 alpha_values = [0.1, 1.0, 0.7]
8 beta_values = [0.0, 0.1, 0.2]
9 gamma_values = [0.0, 0.05, 0.30]

```

Esto a continuación tiene la función de entender los diversos marcos y contextos en los cuales puede aplicarse dicho modelo para los distintos escenarios de la cotidianidad. Esto se observa en los esquemas posteriores:

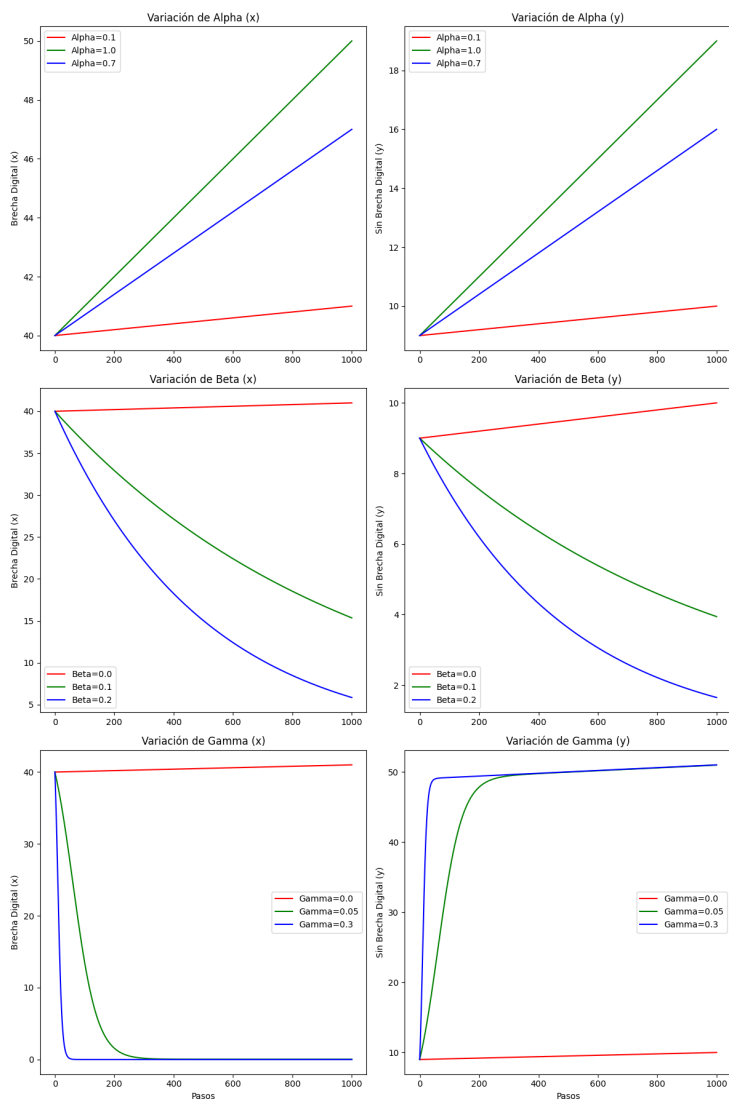


Figura 3.16: Representación gráfica del crecimiento de la población brecha digital y sin brecha digital, variando los tres parámetros

Capítulo 4

Análisis del modelo de la deserción

Similar a lo descrito anteriormente se propuso de manera equivalente, el también realizar un análisis con lógicas existentes dentro de las matemáticas, por ello y tomando en cuenta la teoría de grafos y más en específico, el desarrollar para esta tesis un proceso de entrelazamiento de conceptos que forman redes de diferentes tipos. En función de abordar el fenómeno tecnológico asociado con la absorción de conocimientos, así como de discursos asociados a la deserción, debido a esta idea de supervivencia donde algunos se ven aventajados sobre otros, provocando una serie de anomalías dentro de la colectividad, ejemplificadas a través de esta relación entre el lenguaje y sus prácticas en integración con la cotidianidad, dentro de esta dinámica de educación y de web. Empezaremos mostrando en este capítulo el análisis que se propuso centrado en estos términos y retomando la fuente de indagación más óptima para este desarrollo, etiquetada como “Las redes sociales y su modelado matemático, Social Networks and their Mathematical Modeling” del autor Juan Carlos Ortega Guerrero así como de forma similar se construyeron argumentos del texto “La estructura compleja de las redes sociales” del autor José Ignacio García Valdecasas, y que expongo para atender en forma de connaturalización para la invención del programa (la descripción de dicho programa se realizará en el capítulo 5) que retoma el sistema depredador-presa, pero que también integra lo antedicho (el uso de redes) siguiendo lógicas de interacción o bien fenomenológicas *:

Las redes sociales están constituidas por grupos fragmentados y, a la vez, solapados de individuos: por un lado, dichas redes están fragmentadas debido a la tendencia de los seres humanos a la homofilia (a conectarse con individuos similares); y, por otro lado, están solapadas como resultado de la capacidad de las

*La citas de las fuentes expuestas son (19) y (20).

personas de tener múltiples afiliaciones o roles. La fragmentación supone altos valores del coeficiente de clustering medio de red (C) (los amigos de un individuo suelen ser amigos entre sí), y el solapamiento implica bajos valores de la longitud media de paso de red, (L) (existen pocos pasos de separación por término medio entre dos individuos cualquiera) (Wasserman y Faust, 1994; Hanneman y Riddle, 2005). Así pues, en las redes sociales —a pesar de la fragmentación— es posible encontrar caminos cortos (distancias geodésicas pequeñas) que conecten a dos individuos cualquiera. (Díaz-Guilera et al., 2003; Molina, 2004) (20).

En ese sentido se puede conjeturar como el comportamiento de instancias sociales como el simple hecho de interactuar el uno con sus semejantes puede ser atendido de manera parigual a un contexto de gráficas donde se cumplirán dependiendo de las relaciones entre individuos una funcionalidad semejante a lo visto en otros ámbitos en los que se a empleado esta herramienta, pero que ha sido introducida a este campo de estudio para el análisis de cuestiones de comportamientos grupales e intergrupales, y que es interesante dentro de mi perspectiva, emplear en este análisis de poblaciones.

La comprensión de las relaciones que pueden emularse dentro de los marcos de experiencias que resultan de estas uniones es crucial. En este contexto, examinamos dos grupos particulares: los nativos digitales y aquellos que no están tan inmersos en el mundo virtual. Esta distinción nos permite explorar las dinámicas interactivas entre ambos conjuntos. Basándonos en esta observación, hemos desarrollado un modelo matemático que captura estas interacciones y nos permite visualizarlas de manera efectiva.

Aquí partiendo del anterior ejemplo, comprendemos que una gráfica es un conjunto finito g con una relación r , donde cada x en g se llama vértice y cada elemento de un par en este caso (u, x) representa una relación entre dos vértices. En este caso en específico no sera una gráfica simple ya que poseen lazos, y lo mas importante sera una gráfica ponderada, es decir sus aristas tendrán reflejado un valor mostrado en la representación dada en la Figura 4.1 con la variable a_1 . Partiendo de esta idea se analizará el comportamiento social de este tema, en donde se plantea en primer instancia, de forma mas especifica la unión entre vértices a través de aristas como valores, los cuales fungirán a continuación y en forma equivalente se observara una esquematización de lo que se representa como una red a partir de la unión de dichas gráficas :

x_1 es el vértice asociado a la población nombrado como “sufren brecha digital”.

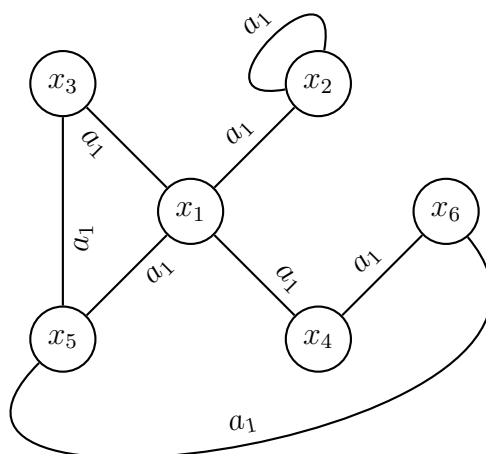


Figura 4.1: Red ponderada.

x_2 es el vértice asociado a la población nombrado como “sufren brecha digital”.

x_3 es el vértice asociado a la población nombrado como “ No sufren brecha digital”.

a_1 es el peso de la arista que une a los vértices x_1 y x_2 definida como el enojo que causa este fenómeno de brecha digital, en este caso a los integrantes de la población que es afectada por esta instancia.

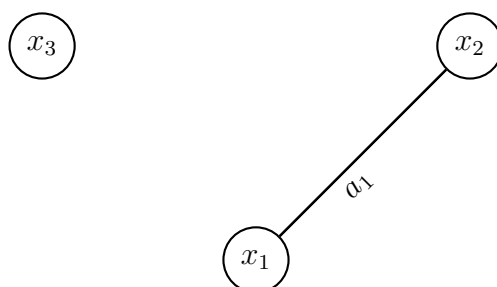


Figura 4.2: Red desconexa.

En este sentido inferimos, además de que lo podremos observar en el consecuente desarrollo de la simulación computacional de forma secuencial dentro del desarrollo de esta tesis. Que pese a un inicio, el querer simular a través de un proceso de integración de Modelación basada en agentes con modelación basada en ecuaciones diferenciales, es importante además de contar con mayor hondura para reflejar estas interacciones de carácter poblacional el atender con la ayuda de estas herramientas el tipo de relación que puede existir en estos individuos en dimensiones grupales.

Por ello se observa como las variables x_1 y x_2 hallarán una conexión como una población que sufre del fenómeno de brecha digital, en donde su posibilidad de absorción de

herramientas tecnológicas se ve negado por otros factores, tales como la disposición de recursos económicos así como educativos. Esta denegación se verá reflejada en su comportamiento analizado por el tipo de discurso que manejan las poblaciones, viéndose ejemplificado como el peso o la ponderación de dicha conexión compartida en esta población que sufre de este hecho, y se observaría como a_1 que representa la emoción del enojo.

Pero no solo existirá esa unión sino que y de lado contrario se decidirá integrar un tipo de población una vez más en forma de una personificación definida como x_3 , la cual será un tipo de colectividad que no dispondrá con ese tipo de relación que antepone x_1 y x_2 , ya que ellos no han sufrido por esta brecha digital, por lo mismo desconocen de ese alejamiento a las herramientas tecnológicas siendo un vértice aislado, definido como un vértice u que es como ya se menciono, aislado u no se relaciona con v donde v siendo un vértice mismo, pero no esta relacionado con otro vértice.

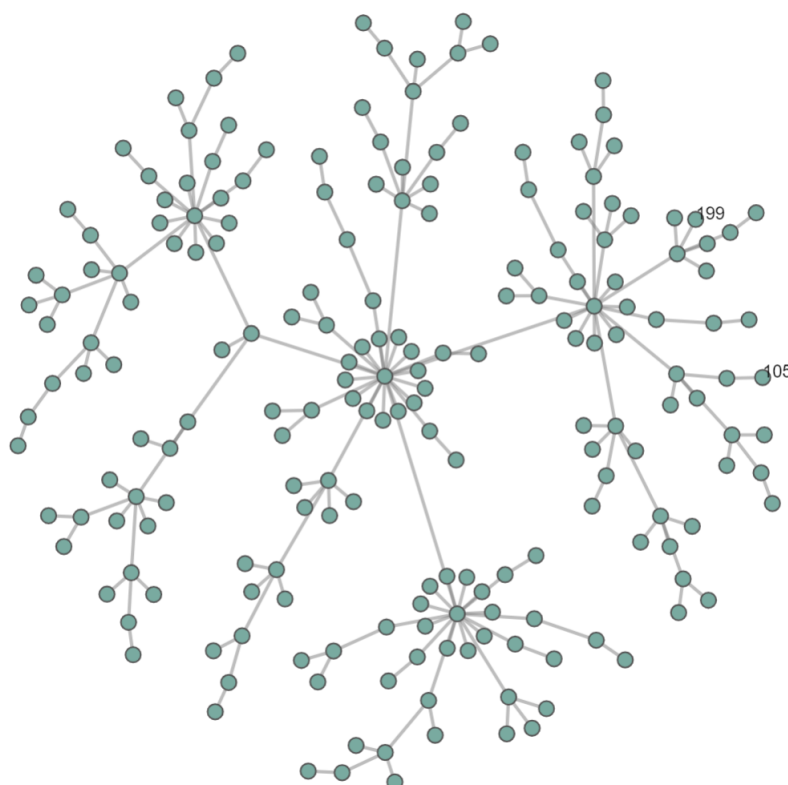


Figura 4.3: Ejemplo de una red.

En este sentido y siguiendo una coherencia por medio de la representación de la simulación, así como lo planteado en forma reflexiva de acuerdo a configurar la relación y distanciamiento de nativos digitales con seres para los cuales el uso de herramientas se observa afectado hasta el punto de que; No le es posible la integración de estas mismas herramientas tecnológicas dentro de su formación provocando conclusiones como lo son , el de su deserción debido a fenómenos de exclusión en diferentes dimensiones de análisis de este hecho.

Por ello y con la idea de esta implementación de redes. Se propone analizar a los dos grupos ya descritos y sus conexiones en la forma en que se decidió integrar una nueva gráfica, la cual describe a los vértices x_3 y x_4 , los cuales representan a las personas que no sufren de brecha digital, por ello pueden ser considerados como nativos digitales o personas las cuales el uso de la digitalización es común, causando que el integrarse con seres iguales a ellos no les generan una disyuntiva o una diferencia, pero que al momento de interactuar con personas para las cuales las herramientas de tecnología les genera una situación de anormalidad, vistos de manera pasada como x_1 y x_2 , estos, al momento de generar un proceso de contacto se ven disminuidos por no poder alcanzar metas que los otros no solo les

4.1. Coeficiente de clustering (C) y simulado

* Para seguir una secuencia en torno a esta idea de demostración de conceptos tales dentro de este marco de redes enfocado a este contexto social es innegable el también introducir una serie de procesos enmarcados al entendimiento de lo que definiremos como clustering, este dentro de el contexto de la teoría de grafos y del análisis de redes.

Al cual este nombrado anteriormente sera una medida que se utiliza para el calcular, el nivel de agrupamiento o conexión entre los vértices en una red. Es un parámetro que nos indica cuántos de los vecinos de un nodo están conectados entre sí. Para nuestro proyecto de tesis esta sera el criterio que nos dictaminara dentro de las dos poblaciones no solo cuantas uniones se tienen de acuerdo a lo descrito de manera antedicha sino que que cuantos de sus iguales poseen dicha unión. El clustering es importante en diversos campos, incluyendo la sociología, la biología, la informática y la física, ya que puede proporcionar información sobre cómo se organizan y se conectan las entidades en una red. Es importante de manera continua el describir su funcionalidad en homogeneidad a nuestro tema de estudio , para ello rescato dos campos en los cuales el clustering juega un papel importante y en paridad a esta tesis, estas áreas son las siguientes:

Redes Sociales: En las redes sociales, el clustering puede ayudar a identificar comunidades o grupos de usuarios que tienden a interactuar entre sí con más frecuencia. Esto es útil para la segmentación de usuarios y la recomendación de contenido.

Análisis de Texto: En el procesamiento de lenguaje natural, el clustering se aplica para agrupar documentos de texto similares en categorías o temas. Esto es útil para la organización y búsqueda de información.

Una vez explicado el marco de esta nueva definición de métrica, es correcto abordar esta misma, a través de la fuente ya atendida y etiquetada como “La estructura compleja de las redes sociales”.

El cual mencionara de de manera preliminar el como definir así como calcular este parámetro teniendo un énfasis en redes de tipo mundo pequeño, presentando la siguiente formula:

*Este coeficiente se es necesario tomar en cuenta que para calcular este mismo dentro de la simulación se es necesario la formación de redes totales de todos los nodos implicados y de los triángulos que se terminan formulando de manera efectiva, este apartado del texto cumple con la función de ser introducción para la realización de este mismo.

$$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n} \quad (4.1)$$

Donde además de adoptar un valor promedio en forma de:

$$\bar{C} \quad (4.2)$$

Indicará que los vecinos de un nodo i son todos los nodos adyacentes a dicho nodo i . Además de que el coeficiente de clustering del nodo i (C_i) es el cociente entre el número de vínculos existente entre los vecinos del nodo i y el número de vínculos posibles entre dichos vecinos. Se define el coeficiente de clustering de la red como la media de los coeficientes de clustering de todos los nodos para los que está definido dicho coeficiente (n).

Sin embargo este coeficiente de acercamiento está empleado para un tipo de red etiquetada como de mundo pequeño, el cual pese a ser fundamental, es importante señalar que para nuestro ejercicio de simulación que integra estos conceptos, la forma de calcular la transmutación de redes que se origina a partir de nuestra modelación es la nombrada como redes aleatorias con agrupaciones locales, que dictaran el cálculo de su acercamiento con sus vecinos o el clustering en la siguiente forma:

Sea una gráfica g de orden n tal que la probabilidad de que dos vértices sean adyacentes es p , si v como vértice pertenece a mi red tal que

$$G \in G(n, P), v \in V(G) \quad (4.3)$$

Se define el clustering de v como vértice a continuación:

$$c(v) = \frac{2L_v}{K(K-1)} \quad (4.4)$$

Donde L_v será el número de aristas que puede haber entre los vecinos de v y K es el grado del vértice de v , enseguida de esta fórmula hay que calcular el número esperado de aristas entre los vértices v , es decir:

Sea un vértice de mi red aleatoria $v \in V(G)$ que tenga grado K .

Donde $d(v) = K$, ($d(v)$ se utiliza para denotar el grado del nodo v , es decir, cuántas aristas están conectadas al nodo v .) y L_v que será el número esperado de aristas que pueda haber entre los vecinos de este vértice v .

$$L_v = p \cdot \frac{K(K-1)}{2} \quad (4.5)$$

Donde p será la probabilidad en que dos vértices pueden ser adyacentes por las posibles aristas en los vecinos v .

Por lo tanto si sustituimos L_v en la fórmula del clustering, obtendremos lo siguiente:

$$c(v) = \frac{2L_v}{K(K-1)} = \frac{2p \cdot \left(\frac{K(K-1)}{2}\right)}{K(K-1)} = p = \frac{K}{n} \quad (4.6)$$

Supongamos que tenemos un vértice v en una red aleatoria con agrupaciones locales, y su grado K es 5. Además, la probabilidad p de que dos vértices sean adyacentes es 0.4.

1. Calculamos L_v utilizando la fórmula $L_v = \frac{p \cdot K(K-1)}{2}$:

$$\begin{aligned} L_v &= \frac{0,4 \cdot 5(5-1)}{2} \\ &= \frac{0,4 \cdot 5 \cdot 4}{2} \\ &= \frac{0,4 \cdot 20}{2} \\ &= \frac{8}{2} \\ &= 4 \end{aligned}$$

2. Sustituimos L_v en la fórmula del coeficiente de clustering:

$$\begin{aligned} c(v) &= \frac{2 \cdot L_v}{K(K-1)} \\ &= \frac{2 \cdot 4}{5(5-1)} \\ &= \frac{2 \cdot 4}{5 \cdot 4} \\ &= \frac{8}{20} \\ &= 0,4 \end{aligned}$$

*Por lo tanto, el coeficiente de clustering para este vértice específico en la red aleatoria con agrupaciones locales es igual a la probabilidad p de que dos vértices sean adyacentes, que en este caso es 0.4. A partir de esta idea se efectuó la siguiente modelación en el programa de NetLogo.

Además de describir este coeficiente de agrupamiento realizando modificaciones las cuales se desean emplear con la simulación en NetLogo:

*(21; 22).

4.1.1. Coeficiente de agrupamiento local promedio

La fórmula del coeficiente de agrupamiento local promedio (C_{promedio}) en una red es dada por:

$$C_{\text{promedio}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{2 \cdot T_i}{k_i \cdot (k_i - 1)}$$

Donde:

- C_{promedio} : Representa el coeficiente de agrupamiento local promedio para todos los nodos en la red.
- N : Es el número total de nodos en la red.
- T_i : El número de triángulos "verdaderos" que involucran al nodo i .
- k_i : El número de conexiones (grados) del nodo i .

Esta medida proporciona una evaluación del agrupamiento local promedio en la red y refleja cuántos triángulos se forman en relación con las conexiones de los nodos.

La sumatoria se interpreta como la suma de los términos para cada nodo individual en la red, donde i representa el índice del nodo en la red. Específicamente, la suma se realiza para cada nodo desde el primer nodo ($i = 1$) hasta el último nodo ($i = N$), donde N es el número total de nodos en la red.

En otras palabras, con el coeficiente de agrupamiento local de un nodo específico, y al sumar todos estos términos para cada nodo en la red, obtenemos el coeficiente de agrupamiento promedio para toda la red. Esto nos permite entender cómo cada nodo contribuye al agrupamiento global de la red.

Capítulo 5

Descripción del modelo de simulación en NetLogo

Primera simulación en NetLogo

*En esta descripción del modelo de simulación en NetLogo, se integra el siguiente fragmento rescatado del artículo previamente publicado por mi autoría (1).

En aspectos metodológicos se propuso la realización de un programa a través de la herramienta denominada como NetLogo para la construcción de un “software” especializado en la simulación de interacciones sociales utilizando métodos existentes dentro de las áreas de las matemáticas como los son los multiagentes . En donde a través de dicho material, se puede conjeturar, así como observar las diferentes formas de construcción o de articulación de los variados actores de índole social, para ello se dividió a la muestra en dos poblaciones las cuales desarrollaron bajo un planteamiento teórico donde su tipo de conocimiento o de aprendizaje se encuentra en función a su uso cotidiano o en contraposición con su falta de acercamiento con las tecnologías emergentes. Produciendo de esta forma que una de las poblaciones sufra de brecha digital haciendo un oxímoron con la población que no es nativa a estas mismas formas tecnológicas. Dichas agrupaciones son las siguientes: Al momento de referirnos a la integración y a las subsecuentes modificaciones realizadas:

Este programa implementa un modelo de simulación en NetLogo para estudiar la dinámica de una población de agentes en una red. Los agentes pueden tener tres estados diferentes: con brecha, sin brecha o normal. Cada agente se representa visualmente con un color y una forma específicos. Así como de forma equívoca las tres poblaciones contarán con una tipificación en relación a todo el andamiaje contextual e histórico, relacionado con

*Dicha programación se puede observar a través de una serie de comandos en el programa NetLogo, colocado en el final del texto en la sección llamada “Apéndice”. Repositorio disponible en: <https://github.com/Imanol11/Simulaciones>.

esta proyecto, retomando lo visto en secciones anteriores.

La simulación se ejecuta en pasos discretos llamados "ticks". Estos reflejan unidades de tiempo que pueden ser etiquetadas de acuerdo a los intereses particulares, en este caso para este escrito una ejemplificación en función de este marco podría ser relacionado a días, meses o años. A continuación, se presenta una descripción detallada del programa en conexión a su propia forma de accionar:

Se coloca a las dos poblaciones de los Sin brecha digital (color naranja) a los que sufren brecha digital (color verde) en un mundo dentro del escenario de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México. (aún no hay interacción de los colectivos)

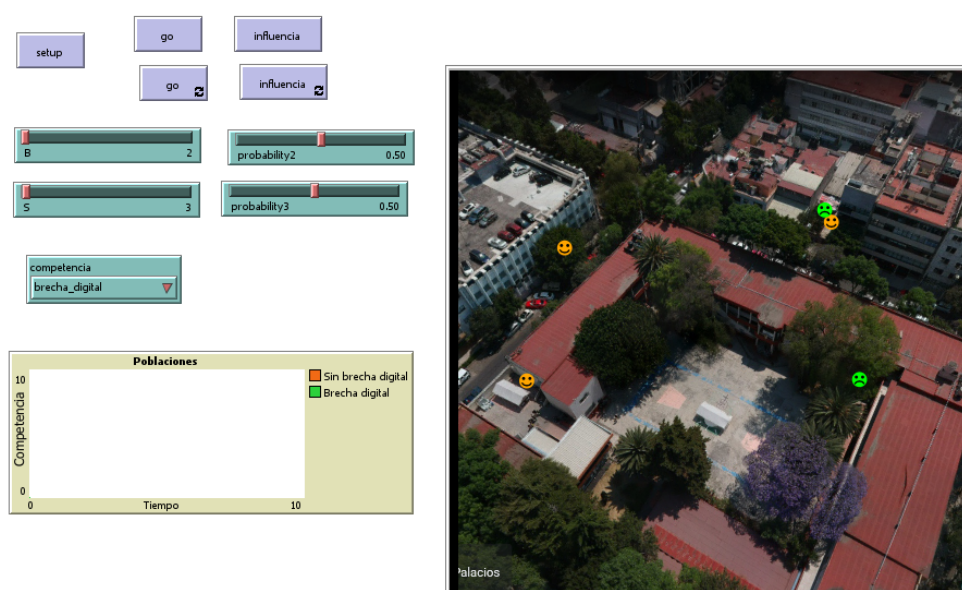


Figura 5.1: Población de los que sufren brecha digital en contraposición con los que no sufren de este.

Empieza a ver una interacción entre las dos agrupaciones en donde por medio de una serie de comandos se comunicaran los dos colectivos, y que se generara que las acciones de dichas poblaciones afectaran a la otra agrupación que desempeñe el papel del sistema de ecuaciones diferenciales, su tipificación como del mismo grupo se deberá a la identificación del agente por medio de su competencia. (siendo por así decirlo influenciables las poblaciones)., Es decir el programa se hizo con la idea de que la población de color verde se vea disminuida es decir “influenciada a desertar” por la agrupación de color naranja similar a lo planteado por medio del sistema depredador-presa. Donde el depredador por su color serían los Sin brecha digital y la presa los que sufren brecha digital. (naranja y verde correspondientemente)

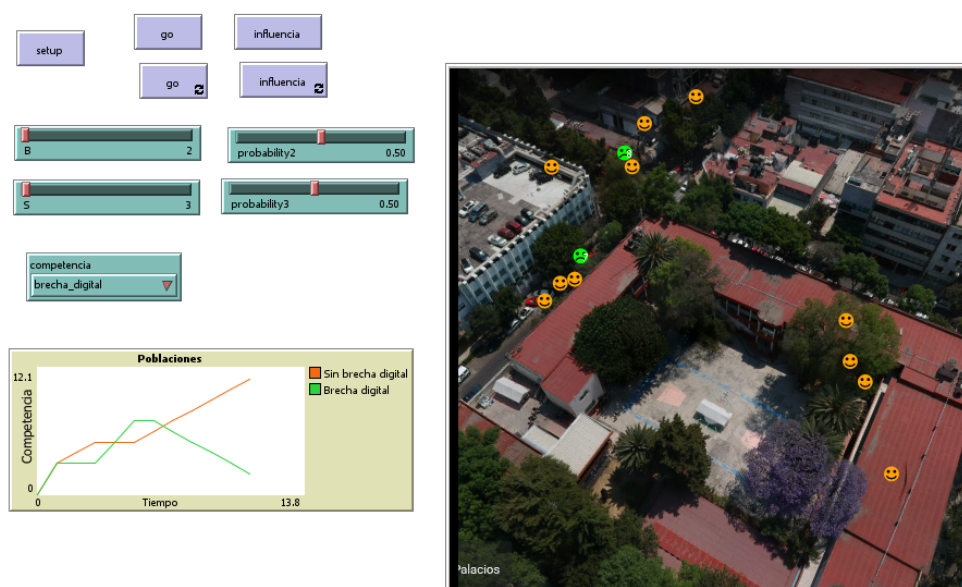


Figura 5.2: Empieza a haber exclusión, atendiendo a una lógica congruente al sistema depredador-presa.

El resultado de dicha simulación de dos poblaciones las cuales utilizan los medios o los social media para hallar dentro de su vida cotidiana la obtención de nuevos conocimientos de acuerdo a su uso de en este caso dos agentes importantes dentro de estas herramientas tecnológicas como lo son la web y los dispositivos con cargas eléctricas. Teniendo en cuenta la simulación computacional con igualdad a lo descrito en la descripción matemática del sistema depredador- presa la población de los que no sufren brecha digital tendrían cierto tipo de subsistencia dentro del imaginario escolar al contrario de la población de los que sufren brecha digital donde su maestría de uso de interacción con la web no fue suficiente para su estancia académica, esto entendido dentro de la simulación y que es observable. Tiende a cero la población que sufre de “brecha digital”.



Figura 5.3: La exclusión cada vez es mayor generando deserción.

En un inicio se concibe a la red , en ese sentido empieza a generarse un cambio debido al proceso de los multiagentes, y comienza a ver una interacción entre las dos agrupaciones en donde a través de las aristas es decir de sus conexiones interactuaran las poblaciones como una red, de en este caso como tipo distribuida (Y que es observable en las siguientes dos imágenes del software).

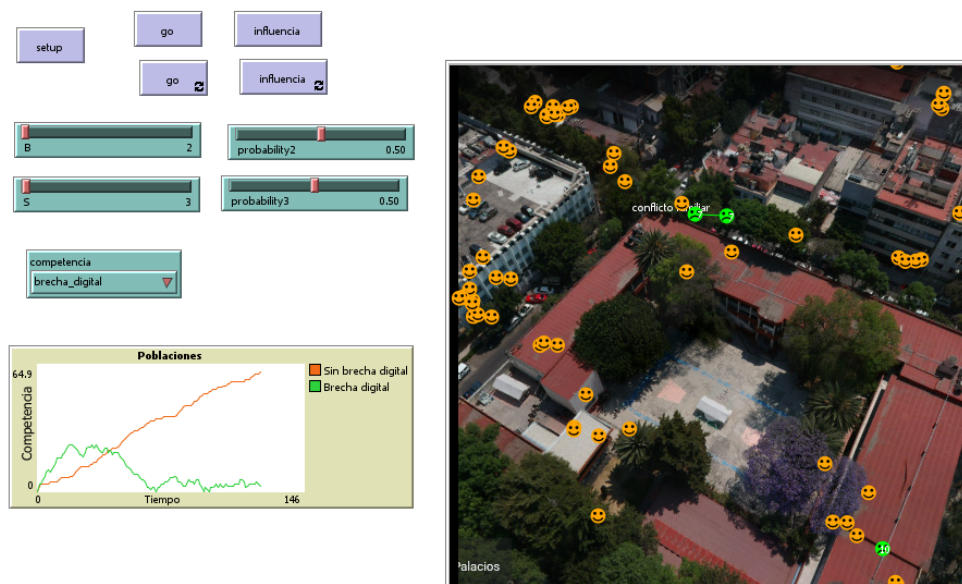


Figura 5.4: Una de las simulación finales.

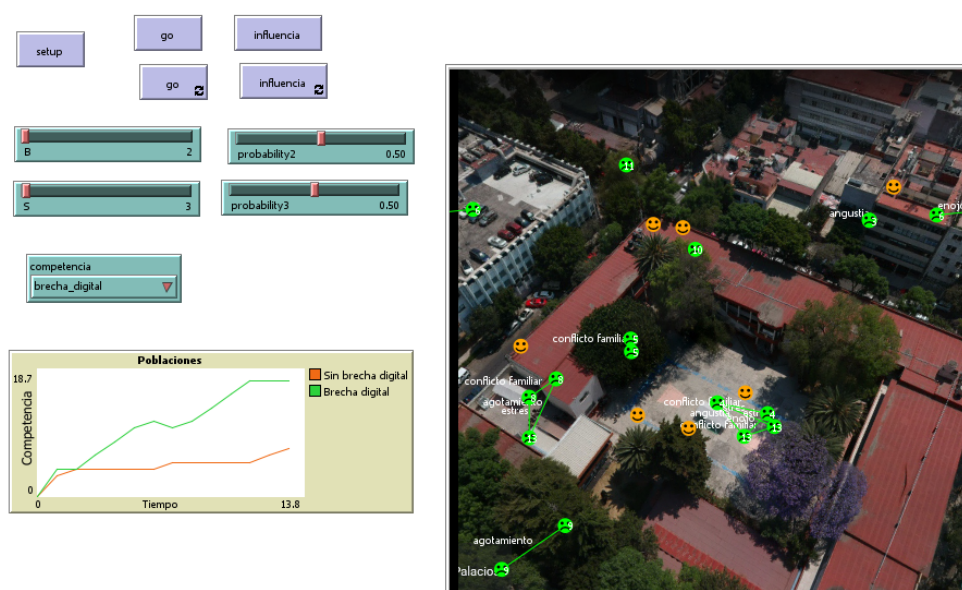


Figura 5.5: Población de los que sufren brecha digital forman redes con los semejantes a el con pesos en contraposición con los que no sufren de este.

5.0.1. Explicación del Código en NetLogo

El Primer código en NetLogo implementa un modelo de simulación con una dinámica diferente entre dos grupos de agentes: los "sin brecha digital" y los "brecha digital". A continuación, se detalla cada parte del código:

1. **Declaración de Globales y Definición de Razas:** Se declaran dos variables globales, `color-sin_brecha_digital` y `color_brecha_digital`, para representar los colores de los grupos de agentes. Se crean dos razas de tortugas: `sin_brecha_digital` y `brecha_digital`, con sus respectivas variables de instancia.
2. **Inicialización (`setup`):** En esta sección, se inicializa el entorno y se crea la población inicial de agentes. Se asignan colores y formas específicas a las tortugas de cada grupo. Luego, se importa una imagen de fondo para el entorno de simulación.
3. **Iteración Principal (`go`):** Durante cada paso (*tick*) de la simulación, se ejecutan una serie de acciones. Primero, los agentes se mueven y se reproducen de acuerdo con reglas específicas para cada grupo. Luego, se realiza una disputa entre los agentes "sin brecha digital" y los agentes "brecha digital", donde los primeros se mueven hacia los segundos y, si están lo suficientemente cerca, los eliminan.
4. **Probabilidad de Conexión (`probabilidad2`, `probabilidad3`):** Estas funciones controlan la probabilidad de que un agente "brecha digital" o "sin brecha digital", respectivamente, establezca una conexión con otro agente del mismo tipo dentro de un radio determinado. Si se cumple la condición de probabilidad, se crea una conexión entre el agente actual y uno de los agentes cercanos del mismo tipo.
5. **Influencia:** Esta función simula la influencia de los agentes brecha digital en los sin brecha digital, donde los primeros se mueven hacia los segundos y establecen conexiones con ellos si están lo suficientemente cerca.
6. **Reproducción de Agentes:** Cada cierto número de ticks, se reproduce un nuevo agente brecha digital o sin brecha digital en una ubicación aleatoria del entorno, según una probabilidad determinada.

5.1. Segunda modelación en NetLogo.

La simulación de sistemas complejos es una herramienta valiosa para comprender y analizar fenómenos dinámicos en diversos campos, desde la biología hasta la sociología. En este contexto, el lenguaje de modelado NetLogo ofrece una plataforma robusta para construir y explorar modelos de agentes, permitiendo a los investigadores simular interacciones entre entidades individuales y analizar la emergencia de patrones colectivos.

5.1.1. Modelado de la dinámica social con NetLogo

Este trabajo escrito se centra en la comprensión de un programa NetLogo que simula la dinámica de una población de agentes con diferentes estados y cómo estas interacciones evolucionan con el tiempo.

El programa inicia con una fase de inicialización, estableciendo el entorno y definiendo propiedades iniciales. Se crea una población de agentes, cada uno representado visualmente con colores y formas específicos que indican su estado: "con brecha", "sin brecha", "normal". Estos estados reflejan posibles características sociales de los agentes, como la presencia o ausencia de conexiones en una red.

La simulación avanza en pasos discretos, denominados "ticks", donde cada tick representa una unidad de tiempo. Durante cada tick, se ejecutan acciones que modelan diversos aspectos de la dinámica social de la población. La creación de nuevos individuos introduce variabilidad en la población, mientras que la deserción simula la posibilidad de que los agentes abandonen el sistema.

Uno de los aspectos clave del modelo es la formación y evolución de conexiones entre los agentes. Estas conexiones se establecen en función de la proximidad física y el tipo de agente, reflejando la tendencia natural de las personas a interactuar con individuos similares. La creación de conexiones entre agentes "con brecha" y "sin brecha" permite explorar cómo se desarrollan y mantienen las brechas sociales en la red.

El programa también incorpora la noción de agrupamiento, evaluando la tendencia de los agentes a formar grupos cohesivos. Se calcula un coeficiente de agrupamiento para los agentes "con brecha" y "sin brecha", proporcionando una medida cuantitativa de la estructura de la red social emergente. Estos análisis permiten una comprensión más profunda de cómo evolucionan las relaciones sociales en la población a lo largo del tiempo.

La simulación realiza un seguimiento del porcentaje máximo y mínimo de agentes con características específicas, proporcionando una visión de la distribución de los estados sociales en la población. Este monitoreo ayuda a identificar tendencias y cambios significativos en la composición de la población a lo largo de la simulación.

En conclusión, el programa NetLogo examinado proporciona una herramienta efectiva para modelar la dinámica social en una población de agentes. Al simular la formación y evolución de conexiones sociales, así como la variabilidad en las características individuales, el modelo permite explorar la emergencia de patrones colectivos y comprender mejor cómo las interacciones individuales contribuyen a la estructura global de la red social. Este enfoque

ofrece una perspectiva valiosa para investigadores interesados en analizar y comprender los fenómenos sociales complejos a través de la simulación computacional.

5.1.2. Inicialización

- Inicializa el entorno y establece propiedades iniciales. En este caso este procesos ya introducido de inicialización colocara un numero tal de agentes en forma aleatoria y que de acuerdo a una probabilidad dictaminara cual sera la cantidad proporcional en la cual los agentes poseerán cualquiera de los tres estados planteados de forma inicial para reflejar en el mundo una población inicial.
- Define colores y formas para los diferentes tipos de agentes. En este caso y de acuerdo una vez mas a cuestiones probabilísticas la población inicial de los agentes tendrán colores variado así como características particulares tales como por ejemplo los agentes que posean brecha digital estarán representados por un color verde, los de sin brecha digital, se verán observados de color naranja, y la población que no se halle dentro de esta dos poblaciones ya descritas reflejara un color amarillo. Es importante aclara de igual forma que esta ultima población denominada como normal en dónde su uso de tecnologías se parte de un desarrolló gradiente para su dominio, su origen d elos agentes se deberá a u propia función de probabilidad para que se de o no su agrupación dentro de la comunidad inicial.
- Crea la población inicial de agentes con características aleatorias. Al igual que se implementaran cierto tipo de acciones que se asociaran con procedimientos de escritos de forma futura tales como la posibilidad de hacer uniones con sus pares de cada colectivo de agentes. Como de forma homogénea asociar con lo planteado dentro del accionar de estos agentes con el sistema de ecuaciones diferenciales para las tres poblaciones.
- Inicializa variables globales y reinicia el contador de ticks. Se inicia todo este proceso y se halla la posibilidad de reiniciar con funciones de cambio de parámetros para observar cambios dentro de su dinámica.

En resumen el proceso se pronuncia en esta secuencia:

5.1.3. Creación de población

- Crea la población inicial de agentes con características aleatorias.
- Asigna aleatoriamente a los agentes el estado de “con brecha” o ”sin brecha”.
- Algunos agentes también pueden tener el estado ”normal” aludiendo a su uso moderado con relación a su uso de las tecnologías.

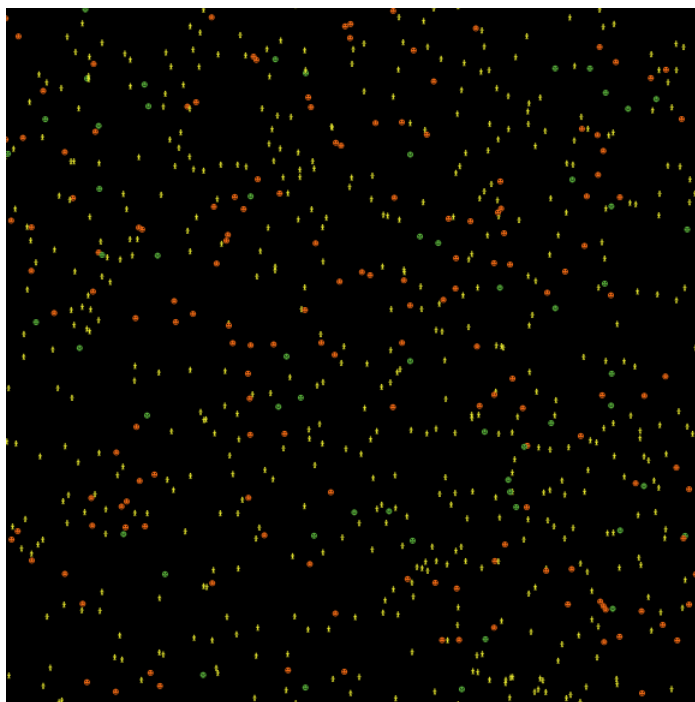


Figura 5.6: Sistema de agentes con las tres poblaciones.

5.1.4. Funciones de cambio de estado

Es de menester y de acuerdo al sistema de ecuaciones diferenciales la población de brecha digital puede transmutarse al grupo de sin brecha digital, así como de forma equivalente a las primeras dos poblaciones pueden convertirse a la tercera población, con el fin de mostrar el cambio entre individuos debido a procesos de índole cultural y de una interacción social

- Cambian la apariencia de las tortugas según su tipo (con brecha, sin brecha o normal).

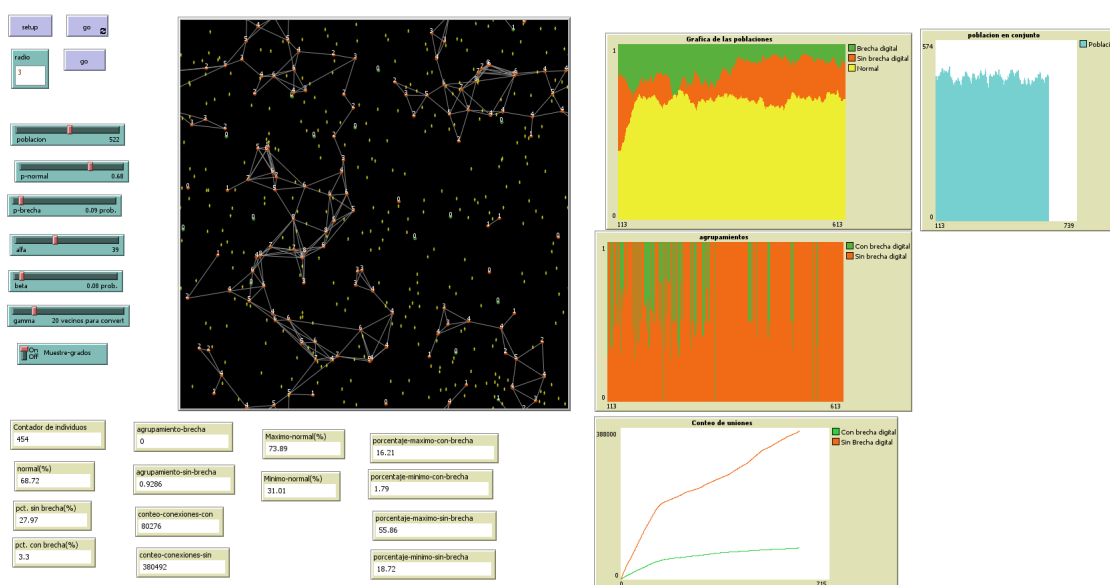


Figura 5.7: Sistema de agentes con variación en las tres poblaciones.

5.1.5. Iteración principal

- Ejecuta diversas acciones en cada paso (`tick`). Se desarrolla en forma de interacción por medio del uso de la interfaz vista como el transcurso del boton "go" donde ya no solo se inicializará el mundo sino que comenzaran a realizar las acciones en función de lo visto con anterioridad.
- Crea nuevos individuos en cada paso con características aleatorias.
- Simula la deserción de agentes.
- Mueve a los agentes en direcciones aleatorias.
- Establece conexiones entre agentes cercanos del mismo tipo.
- Calcula el agrupamiento de los agentes con y sin brecha. La población normal el cual se intenta figurar su uso de nuevas tecnologías como moderado no realizara uniones dentro de esta simulación, sin motivos partículas.
- Realiza un seguimiento del porcentaje máximo y mínimo de agentes con características específicas. Con el fin de atender por medio de una cuantificación las frecuencias de cada numero de agentes de las tres poblaciones, así como observar el numero de uniones que han realizado.
- Detiene la simulación si el número de agentes "sin brecha" alcanza un umbral. Es decir una cantidad de surgimiento de población importante.

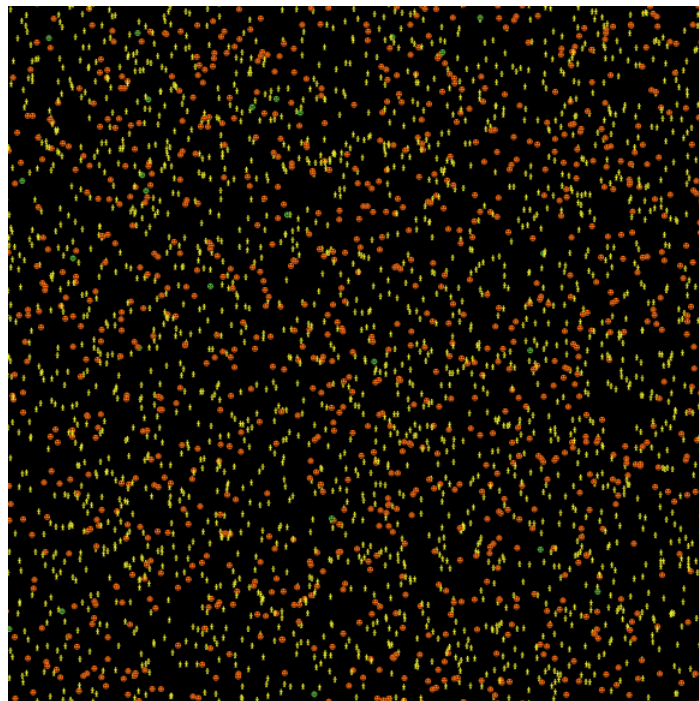


Figura 5.8: Hay sobrepoblación en la simulación

5.1.6. Actualización de porcentajes máximos y mínimos

- Actualiza el porcentaje máximo y mínimo de agentes con características específicas. En este apartado se puede modificar la interacción de las poblaciones, tanto sus tasas de crecimiento, como sus tasas de cambio y de deserción en consideración para poder representar diferentes escenarios de acuerdo a la problemática de estudio, y que a través de estos valores en forma de porcentajes se puede analizar dichas frecuencias en forma de valores máximos y mínimos de los tres grupos y que cambia de acuerdo a los parámetros.



Figura 5.9: Porcentajes

5.1.7. Creación de nuevos individuos

- Crea nuevos individuos en cada paso con características aleatorias. Con dichas tasas α surge nueva población, asociado a que ingresan nueva población estudiantil

5.1.8. Deserción

- Simula la deserción de agentes de la población con una probabilidad definida por el parámetro β . Esta deserción no es por razones de brecha digital, sino que se puede extrapolar por otro tipo de escenarios tales como el acoso escolar, la insuficiencia académica u otros hechos.

5.1.9. Deserción con brecha

- Simula la deserción de agentes “con brecha” que tienen un número suficiente de vecinos “sin brecha” en su entorno.

5.1.10. Movimiento

- Mueve a los agentes en direcciones aleatorias.

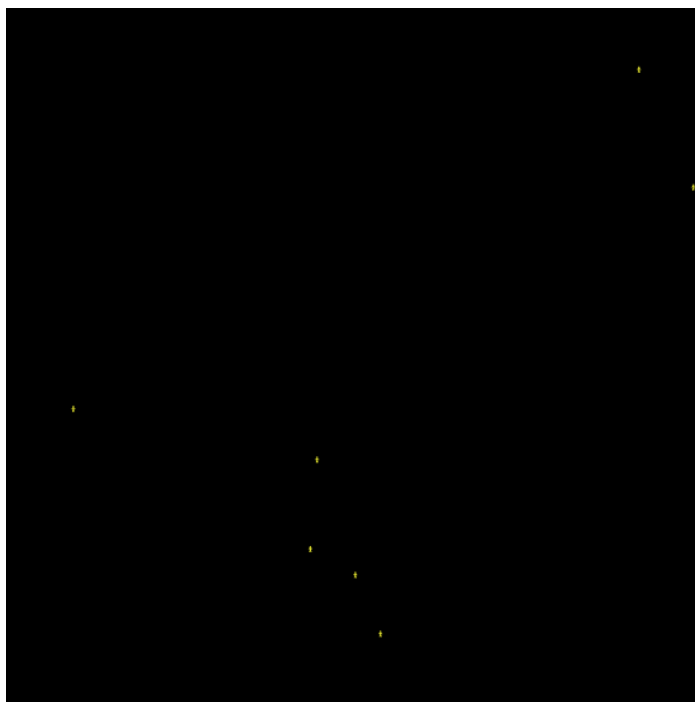


Figura 5.10: Deserción escolar por otros factores que no son la brecha digital directamente

5.1.11. Conexiones

- Establece conexiones entre las tortugas basándose en su tipo y distancia.
- Realiza un seguimiento de las conexiones y actualiza el conteo de conexiones con brecha "sin brecha". Esto con el fin de reproducir cuestiones de interacción social, de formación de grupos así como de encarnar relaciones transitivas

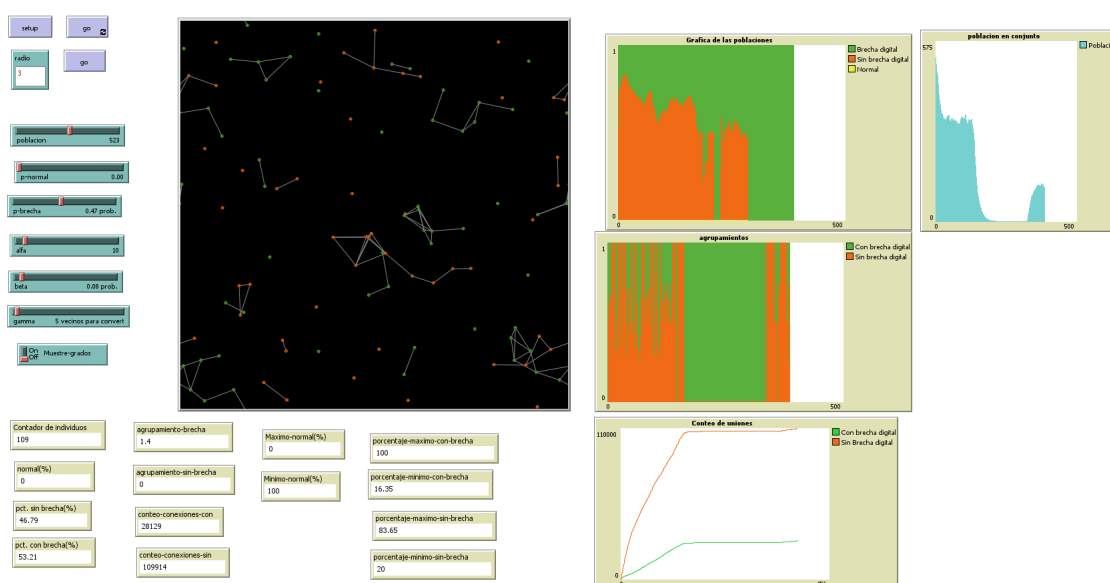


Figura 5.11: Formación de grupos donde no se muestra su valor de interacción.

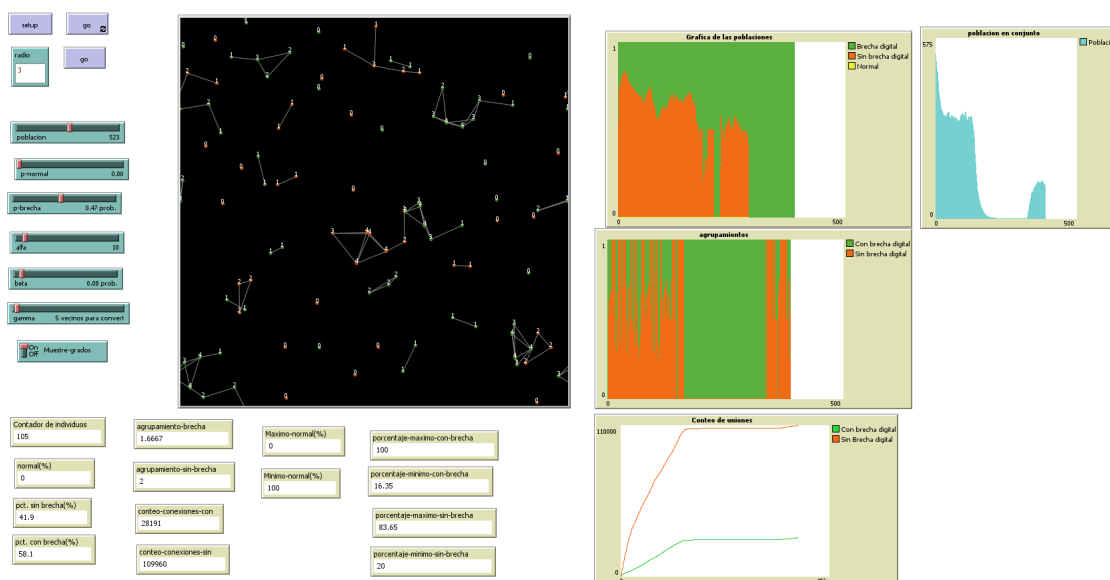


Figura 5.12: Formación de grupos donde se muestra su valor de interacción (El grado de las gráficas en la red)

5.1.12. Cálculo de agrupamientos

- Calcula el coeficiente de agrupamiento para los agentes “con brecha” y “sin brecha”.
- Almacena estos valores para análisis.

Con estas uniones se emplea el calculo de agrupamiento para observar su tipo de red así como en general concluir la cohesión de cada uno de los dos grupos

En resumen, este programa proporciona un marco para simular la evolución de una red de agentes con diferentes características y analizar cómo se forman y evolucionan las conexiones entre ellos a lo largo del tiempo.

Esta medida proporciona una evaluación del agrupamiento local promedio en la red y refleja cuántos triángulos se forman en relación con las conexiones de los nodos.

Capítulo 6

Resultados

* El resultado de la simulación computacional que representa dos poblaciones, una que utiliza activamente medios digitales y otra que enfrenta la brecha digital, arroja resultados significativos en términos de su participación en la educación y su tasa de deserción escolar. La población que no sufre de la brecha digital muestra una mayor subsistencia en el ámbito educativo, mientras que la población afectada por esta brecha experimenta una tasa de deserción escolar más alta debido a su falta de inclusión social y acceso limitado a recursos educativos digitales.

Esta diferencia en la tasa de deserción escolar se puede observar y cuantificar mediante la simulación computacional, que utiliza modelos matemáticos inspirados en sistemas depredador-presa y representaciones de redes para simular el comportamiento de las poblaciones y su interacción con los recursos educativos digitales. Además, la simulación puede integrar otros factores que contribuyen a la deserción escolar, como la inmigración o la mortalidad, para capturar un panorama más completo de las dinámicas educativas.

La utilización de la teoría de redes en la programación de la simulación permite visualizar y analizar las interacciones sociales y los procesos de influencia en las poblaciones estudiadas. Esto proporciona una herramienta poderosa para comprender cómo la conectividad digital y la inclusión social impactan en la participación educativa y la deserción escolar, y cómo estos factores pueden influir en otros aspectos de la vida social y comunitaria.

*Repositorio disponible en: <https://github.com/Imanol11/Simulaciones>

Capítulo 7

Conclusiones

La construcción de un modelo utilizando herramientas de las ciencias de la complejidad para observar las relaciones sociales y el desarrollo de habilidades a través del uso de tecnologías de comunicación y web no solo es posible, sino también necesario en el contexto actual. Este enfoque nos permite entender cómo ciertas competencias se ven favorecidas por el uso constante de herramientas tecnológicas, mientras que otras pueden quedar rezagadas, lo que a su vez nos lleva a replantear estrategias pedagógicas para abordar estas diferencias y promover una educación más equitativa y efectiva.

Es fundamental comprender la brecha digital no solo como una cuestión de acceso a la tecnología, sino también como resultado de disparidades económicas, sociales y educativas. Abordar estas diferencias requiere no solo enfoques basados en la lógica matemática, sino también reflexiones profundas sobre cómo construir sociedades más justas y equitativas.

En resumen, la aplicación de modelos de complejidad en el estudio de las relaciones sociales y el desarrollo de habilidades a través de la tecnología nos brinda una perspectiva más amplia y profunda sobre cómo abordar los desafíos educativos y sociales en la era digital.

Bibliografía

- [1] C. Garnelo, I. y Islas. ¿Hasta dónde alcanza realmente la potencia explicativa de los modelos basados en la autoorganización en el ámbito del aprendizaje? How far does the explanatory power of models based on self-organization really reach in the field of learning? *LATAM*, 4(2):3307–3320, July 15 2023. Citado el 26 de abril de 2024.
- [2] V. Rodríguez Pérez, A & Betancor Rodríguez. *Capítulo 5. La cognición social*. En J. Manuel Cejudo (Ed.), *Psicología social*. (Pp. 125-166). Madrid: Mc Graw-Hill, 2007.
- [3] C Pereda. *Escuela y comunidad. Observaciones desde la teoría de sistemas sociales complejos*. REICE. Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación, 1(1), 2003.
- [4] M. McLuhan. *Introducción a la edición de la MIT Press; Introducción; y El medio es el mensaje*. Barcelona, España: Paidós, 1996. (Pp. 9-42), 1964.
- [5] R. A. Salas Rueda, R. Castañeda-Martínez, J. Ramírez-Ortega, A. M. GarcésMadrigal, and E. Prieto-Larios. Muro colaborativo: ¿aplicación web necesaria para mejorar las condiciones de enseñanza-aprendizaje en la facultad de psicología? *Dilemas contemporáneos: educación, política y valores*, 8(2)., 2021.
- [6] O. D. Cardona Arboleda. *Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos*. Universitat Politècnica de Catalunya., 2001.
- [7] P. Blanchard, R. Devaney, and G-Hall. *Ecuaciones diferenciales*. International Thomson Editores, 1998.
- [8] F. J. Miguel and S. Hassan. La investigación mediante simulación social multiagente. m. arroyo & i. sádaba. *Metodología de la investigación social: técnicas innovadoras y sus aplicaciones (Pp. 321-344)*, 2012.
- [9] A. Menéndez Velázquez. Una breve introducción a la teoría de grafos. *Suma.*, 1998.
- [10] R. Mayntz. *Modelos científicos, teoría sociológica y el problema macro-micro*. Centro de Investigaciones Sociológicas Madrid, España: Reis. Revista Española de Investigaciones Sociológicas, núm. 98, 2002, (Pp. 65-78.), 2002.
- [11] C. Geertz. *Conocimiento Local Ensayos sobre la interpretación de las culturas*. Impreso en España - Printed in Spain: 1983 by Basic Books, Inc., 1994.

- [12] M. Mitchell. *Complexity A Guided Tour*. Oxford University press: Published by Oxford University Press, Inc., 2009.
- [13] J. Martín Prada. *La red como espejo. En El ver y las imágenes en el tiempo de internet*. Madrid, España: Akal, .2018.
- [14] A. Grimson. *Los límites de la cultura*. Buenos Aires: Siglo XXI Editores, (Pp. 171-194)., 2011.
- [15] R. Gamarra Soto. *Brecha tecnológica en la deserción escolar en una institución educativa de Puerto Maldonado, 2021*. 2021.
- [16] R. Arriazu. La incidencia de la brecha digital y la exclusión social tecnológica: el impacto de las competencias digitales en los colectivos vulnerables. *Praxis sociológica*, (19), (Pp. 225-240)., 2015.
- [17] L. A. Amaya Cedrón. Modelo de lotka - volterra en la biomatemática solución de sistema depredador-presa. *Ciencias*, 4(4), (Pp. 99–110). <https://doi.org/10.33326/27066320.2020.4.991>, 2020.
- [18] J. N. Paul, S. S. Mirau, and I. S. Mbalawata. Mathematical approach to investigate stress due to control measures to curb covid-19. *Computational and mathematical methods in medicine*, 2022, 7772263. <https://doi.org/10.1155/2022/7772263>, 2022.
- [19] J. C. O. Guerrero. Las redes sociales y su modelado matemático. *Revista Ensayos Pedagógicos*, 2016. Edición Especial, ISSN 1659-0104.
- [20] J. I. G. V. Medina. La estructura compleja de las redes sociales. *RES. Revista Española de Sociología*, (24), (Pp. 65-84)., 2015.
- [21] M. Newman. *Networks: An Introduction*. Oxford University Press, 2010.
- [22] E. Estrada and P. A. Knight. *Complex Networks: Structure, Robustness and Function*. Cambridge University Press, 2015.

Apéndice

1. Comando para graficar el sistema depredador-presa(en python)

Se presenta las siguientes líneas de comando para el desarrollo de las soluciones de dicha ecuación ya antedicha:

```
1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3
4 # Parámetros del modelo
5 alpha = 0.1 # Tasa de crecimiento de las presas
6 beta = 0.02 # Tasa de decrecimiento de las presas debido a los
    depredadores
7 gamma = 0.3 # Tasa de decrecimiento de los depredadores
8 delta = 0.01 # Tasa de crecimiento de los depredadores al alimentarse
9
10 # Condiciones iniciales
11 prey_initial = 40
12 predator_initial = 9
13
14 # Definir las ecuaciones diferenciales del modelo
15 def prey_derivative(prey, predator):
16     return alpha * prey - beta * prey * predator
17
18 def predator_derivative(prey, predator):
19     return delta * prey * predator - gamma * predator
20
21 # Método de Runge-Kutta de cuarto orden
22 def runge_kutta_step(prey, predator, h):
23     k1_prey = h * prey_derivative(prey, predator)
24     k1_predator = h * predator_derivative(prey, predator)
25
26     k2_prey = h * prey_derivative(prey + 0.5 * k1_prey, predator + 0.5 *
```

```

    k1_predator)
27 k2_predator = h * predator_derivative(prej + 0.5 * k1_prej, predator
    + 0.5 * k1_predator)
28
29 k3_prej = h * prej_derivative(prej + 0.5 * k2_prej, predator + 0.5 *
    k2_predator)
30 k3_predator = h * predator_derivative(prej + 0.5 * k2_prej, predator
    + 0.5 * k2_predator)
31
32 k4_prej = h * prej_derivative(prej + k3_prej, predator + k3_predator)
33 k4_predator = h * predator_derivative(prej + k3_prej, predator +
    k3_predator)
34
35 prej_next = prej + (k1_prej + 2 * k2_prej + 2 * k3_prej + k4_prej) /
    6
36 predator_next = predator + (k1_predator + 2 * k2_predator + 2 *
    k3_predator + k4_predator) / 6
37
38 return prej_next, predator_next
39
40 # Parámetros de simulación
41 num_steps = 1000
42 h = 0.1
43
44 # Listas para almacenar los resultados
45 prej_values = [prej_initial]
46 predator_values = [predator_initial]
47
48 # Simulación
49 for _ in range(num_steps):
50     prej, predator = runge_kutta_step(prej_values[-1], predator_values
        [-1], h)
51     prej_values.append(prej)
52     predator_values.append(predator)
53
54 # Graficar los resultados
55 plt.figure(figsize=(10, 6))
56 plt.plot(prej_values, label='brecha_digital')
57 plt.plot(predator_values, label='Sin_brecha_digital')
58 plt.xlabel('Pasos_de_tiempo')
59 plt.ylabel('Población')
60 plt.title('Modelo_Depredador-Presa_con_Runge-Kutta')
61 plt.legend()

```

```
62 plt.show()
```

2. Comando solución de los depredadores(en python)

Se presenta las siguientes líneas de comando para el desarrollo de las soluciones de dicha ecuación ya antedicha:

```
1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3
4 # Parámetros de la ecuación diferencial
5 gamma = 0.1
6 delta = 0.02
7
8 # Condiciones iniciales
9 y_initial = 1.0
10
11 # Definir la ecuación diferencial
12 def differential_equation(y, x):
13     return gamma * y + delta * x * y
14
15 # Método de Runge-Kutta de cuarto orden
16 def runge_kutta_step(y, x, h):
17     k1 = h * differential_equation(y, x)
18     k2 = h * differential_equation(y + 0.5 * k1, x + 0.5 * h)
19     k3 = h * differential_equation(y + 0.5 * k2, x + 0.5 * h)
20     k4 = h * differential_equation(y + k3, x + h)
21
22     y_next = y + (k1 + 2 * k2 + 2 * k3 + k4) / 6
23     x_next = x + h
24
25     return y_next, x_next
26
27 # Parámetros de simulación
28 num_steps = 100
29 h = 0.1
30
31 # Listas para almacenar los resultados
32 y_values = [y_initial]
33 x_values = [0]
34
35 # Simulación
```

```

36 for _ in range(num_steps):
37     y, x = runge_kutta_step(y_values[-1], x_values[-1], h)
38     y_values.append(y)
39     x_values.append(x)
40
41 # Graficar los resultados
42 plt.figure(figsize=(10, 6))
43 plt.plot(x_values, y_values, label='brecha_digital')
44 plt.xlabel('x')
45 plt.ylabel('y')
46 plt.title('Solución de la Ecuación Diferencial con Runge-Kutta')
47 plt.legend()
48 plt.show()

```

3. Modelo de educación y social media

A continuación, se presenta el comando en NetLogo para la realización del sistema de ecuaciones para nuestra investigación:

```

1  globals [color-brecha color-sin-brecha color-normal
2     agrupamiento-brecha agrupamiento-sin-brecha
3     conteo-conexiones-con conteo-conexiones-sin
4     porcentaje-maximo
5     porcentaje-minimo
6     porcentaje-maximo-con-brecha porcentaje-minimo-con-brecha
7     porcentaje-maximo-sin-brecha porcentaje-minimo-sin-brecha
8  ]
9
10 to setup
11     ca
12     set color-brecha green
13     set color-sin-brecha orange
14     set color-normal yellow
15     crea-poblacion
16     set conteo-conexiones-con 0 ; Inicializa el conteo para nodos "con-
17         brecha"
18     set conteo-conexiones-sin 0
19     set porcentaje-maximo 0
20     set porcentaje-minimo 100
21     set porcentaje-maximo-con-brecha 0 ; Inicializa la variable global
22     set porcentaje-minimo-con-brecha 100 ; Inicializa la variable global
23     con un valor alto

```

```
22  set porcentaje-maximo-sin-brecha 0 ; Inicializa la variable global
23  set porcentaje-minimo-sin-brecha 100 ; Inicializa la variable global
    con un valor alto
24  reset-ticks
25 end
26
27
28
29 ; x
30 to convierte-a-brecha
31  set color color-brecha
32  set shape "face_sad"
33  set size .3
34 end
35
36 ; y
37 to convierte-a-sin-brecha
38  set color color-sin-brecha
39  set shape "face_happy"
40  set size .3
41 end
42 to normal
43  set color color-normal
44  set shape "person"
45  set size .3
46 end
47
48 to crea-poblacion
49  crt poblacion [
50    let rand_num random-float 1
51    ifelse random-float 1 < p-brecha [
52      convierte-a-brecha
53    ] [ convierte-a-sin-brecha
54    ]
55    if rand_num < p-normal [
56      normal
57    ]
58    setxy random-xcor random-ycor
59  ]
60
61 end
62
63
```

```
64 to go
65   crea-nuevos-individuos
66   desercion
67   desercion-brecha
68   mover
69   conecta
70   if count sin-brecha >= 1000 [stop]
71   calcula-agrupamientos
72   maximo-y-minimo
73   tick
74 end
75
76 to maximo-y-minimo
77   ; Actualiza el porcentaje máximo y mínimo para color-normal
78   let denominador-normal count turtles with [color = color-normal]
79   if denominador-normal != 0 [
80     let porcentaje-actual-normal denominador-normal / count turtles * 100
81     if porcentaje-actual-normal > porcentaje-maximo [
82       set porcentaje-maximo porcentaje-actual-normal
83     ]
84     if porcentaje-actual-normal < porcentaje-minimo [
85       set porcentaje-minimo porcentaje-actual-normal
86     ]
87   ]
88
89   ; Actualiza el porcentaje máximo y mínimo para con-brecha
90   let denominador-con-brecha count con-brecha
91   if denominador-con-brecha != 0 [
92     let porcentaje-actual-con-brecha denominador-con-brecha / count
93     turtles * 100
94     if porcentaje-actual-con-brecha > porcentaje-maximo-con-brecha [
95       set porcentaje-maximo-con-brecha porcentaje-actual-con-brecha
96     ]
97     if porcentaje-actual-con-brecha < porcentaje-minimo-con-brecha [
98       set porcentaje-minimo-con-brecha porcentaje-actual-con-brecha
99     ]
100   ]
101
102   ; Actualiza el porcentaje máximo y mínimo para sin-brecha
103   let denominador-sin-brecha count sin-brecha
104   if denominador-sin-brecha != 0 [
105     let porcentaje-actual-sin-brecha denominador-sin-brecha / count
106     turtles * 100
```

```

105     if porcentaje-actual-sin-brecha > porcentaje-maximo-sin-brecha [
106         set porcentaje-maximo-sin-brecha porcentaje-actual-sin-brecha
107     ]
108     if porcentaje-actual-sin-brecha < porcentaje-minimo-sin-brecha [
109         set porcentaje-minimo-sin-brecha porcentaje-actual-sin-brecha
110     ]
111 ]
112
113 end
114 ; crea individuos en cada paso (tick)
115 to crea-nuevos-individuos
116     crt alfa [
117         let rand_num random-float 1
118         ifelse random-float 1 < p-brecha [
119             convierte-a-brecha
120         ] [ convierte-a-sin-brecha
121         ]
122         if rand_num < p-normal [
123             normal
124         ]
125         setxy random-xcor random-ycor
126     ]
127 end
128
129 ; -bx and by
130 to desercion
131     ask turtles [
132         if random-float 1 < beta [
133             die]
134     ]
135 end
136
137 ; -bxy
138 to desercion-brecha
139     ask con-brecha [
140         let otras sin-brecha in-radius radio
141         if any? otras and (count otras >= gamma) [
142             convierte-a-sin-brecha
143         ]
144     ]
145 end
146
147

```

```
148
149 ; se mueve suavemente
150 to mover
151   ask turtles [
152     rt random-float 50 - 25
153     fd .1
154   ]
155 end
156
157 ; tortugas con brecha
158 to-report con-brecha
159   report turtles with [color = color-brecha]
160 end
161
162 ; tortugas sin brecha
163 to-report sin-brecha
164   report turtles with [color = color-sin-brecha]
165 end
166
167
168
169
170 to conecta
171   ; se conecta con las cercanas de su mismo tipo
172   ask con-brecha [
173     create-links-with other con-brecha in-radius radio
174     if Muestre-grados [
175       set label count my-links
176     ]
177     if not Muestre-grados [
178       set label ""
179     ]
180   ]
181   ask sin-brecha [
182     create-links-with other sin-brecha in-radius radio
183     if Muestre-grados [
184       set label count my-links
185     ]
186     if not Muestre-grados [
187       set label ""
188     ]
189   ]
190   ask con-brecha [
```

```

191   let otros-nodos-sin-brecha other sin-brecha in-radius radio
192   ask otros-nodos-sin-brecha [
193     create-link-with myself ; Crea una conexión con el nodo actual
194     set conteo-conexiones-con conteo-conexiones-con + 1 ; Incrementa
195       el contador de conexiones "con-brecha"
196   ]
197   ask sin-brecha [
198     let otros-nodos-sin-brecha other sin-brecha in-radius radio
199     ask otros-nodos-sin-brecha [
200       create-link-with myself ; Crea una conexión con el nodo actual
201       set conteo-conexiones-sin conteo-conexiones-sin + 1 ; Incrementa
202         el contador de conexiones "sin-brecha"
203     ]
204   ]
205   ; se desconecta si la distancia es "muy grande"
206   ask links with [ link-length > 3 * radio ] [ die ]
207   ; se desconecta si los extremos son de diferente tipo
208   ask links with [ [color] of end1 != [color] of end2 ] [ die ]
209 end
210
211 to-report triangulos-verdaderos-de [nodos]
212   report [count link-neighbors with [member? self nodos]] of nodos;
213   lineas rojas solidas
214 end
215
216 to-report agrupamiento [conjunto]
217   let acum []
218   ask conjunto [
219     let lin count link-neighbors
220     let posibles-triangulos lin * (lin - 1) / 2 ; total de posible de
221       triangulos, lineas rojas punteadas
222     let vecinos-de-actual link-neighbors
223     if posibles-triangulos > 0 [
224       set acum (list acum (sum triangulos-verdaderos-de vecinos-de-actual
225         / posibles-triangulos))
226     ]
227   ]
228   ifelse not empty? acum [
229     report mean acum
230   ] [ report 0 ]
231 end

```

```
229  
230 to calcula-agrupamientos  
231   set agrupamiento-brecha agrupamiento con-brecha  
232   set agrupamiento-sin-brecha agrupamiento sin-brecha  
233 end
```