



# Universidad Autónoma de Tlaxcala

---

Posgrado en Ciencias Biológicas

Desarrollo de un modelo teórico de dinámicas de  
comunicación de la ciencia para la conservación de  
la biodiversidad

## T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

P r e s e n t a

Daniel Nava Galicia

Codirectores de Tesis

Dra. Margarita Martínez Gómez

Dr. Amando Bautista Ortega

Tlaxcala, Tlax.

Enero, 2025





# Universidad Autónoma de Tlaxcala

---

Posgrado en Ciencias Biológicas

Desarrollo de un modelo teórico de dinámicas de  
comunicación de la ciencia para la conservación de  
la biodiversidad

## T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

P r e s e n t a

Daniel Nava Galicia

### **Comité Tutoral**

Dra. Margarita Martínez Gómez

Dr. Amando Bautista Ortega

Mtra. Sonia Georgina Olguín García

Dra. Verónica Reyes Meza

Tlaxcala, Tlax.

Enero, 2025

Esta tesis se realizó en el Centro Tlaxcala de Biología de la Conducta, bajo la codirección de la Dra. Margarita Martínez Gómez y el Dr. Amando Bautista Ortega, así como con la asesoría de la Dra. Verónica Reyes Meza y la Mtra. Sonia Georgina Olguín García.

La Maestría en Ciencias Biológicas está registrada en el Sistema Nacional de Posgrados del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (SNP-CONAHCyT).

El financiamiento fue otorgado por el programa de Becas Nacionales CONAHCyT (Número de beca:833454).



**COORDINACIÓN MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TLAXCALA  
P R E S E N T E**

Los abajo firmantes, miembros del jurado evaluador del proyecto de tesis que **Daniel Nava Galicia** realiza para la obtención del grado de **Maestro en Ciencias Biológicas**, expresamos que, habiendo revisado la versión final del documento de tesis, damos la aprobación para que ésta sea impresa y defendida en el examen correspondiente. El título que llevará es **“Desarrollo de un modelo teórico de dinámicas de comunicación de la ciencia para la conservación de la biodiversidad”**.

Sin otro particular, aprovechamos para enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E  
TLAXCALA, TLAX., A 09 DE ENERO DEL 2025

DR. AMANDO BAUTISTA ORTEGA

DRA. VERÓNICA REYES MEZA

MTRA. SONIA OLGÚN GARCÍA

DRA. CECILIA CUATIANQUIZ LIMA

MTRA. ADRIANA BLANQUEL GÓMEZ



CENTRO TLAXCALA DE BIOLOGÍA DE LA CONDUCTA  
Coordinación de la División de Ciencias Biológicas  
Secretaría de Investigación Científica y Posgrado

COMITÉ ACADÉMICO  
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Sirva este medio para describir el proceso de revisión de la tesis realizada por la estudiante **Daniel Nava Galicia** titulada “**Desarrollo de un modelo teórico de dinámicas de comunicación de la ciencia para la conservación de la biodiversidad**” para obtener el grado de Maestro en Ciencias Biológicas.

La tesis de **Daniel Nava Galicia** fue revisada por todos los miembros del comité tutorial y por los miembros del comité de examen de grado. La versión final del documento de tesis se sometió a un análisis de similitud en el programa Turnitin, el día 25 de enero del 2025. Se analizaron un total de 18,778 palabras y 107,067 caracteres, excluyéndose la sección de Referencias, y se encontró una similitud general del 4%. Todas las coincidencias encontradas no representaron >1% del total del texto y en la inspección manual de las coincidencias se encontró que la mayoría era por “Fraseología de uso común”.

Por lo anterior, confirmamos que el estudiante no incurrió en ninguna práctica no deseable en la escritura de la tesis.

Sin más por el momento, reciban atentos saludos.

ATENTAMENTE

“POR LA CULTURA A LA JUSTICIA SOCIAL”  
TLAXCALA DE XICOTÉNCATL A 25 DE ENERO DEL 2025

  
Dra. Margarita Martínez Gómez  
Codirectora

  
Dr. Amando Bautista Ortega  
Codirector



Sistema Institucional de Autogestión de la Calidad Certificado bajo la Norma:  
ISO 9001:2015-NMX-CC-9001-IMNC-2015

## **Agradecimientos**

Al Posgrado en Ciencias Biológicas del Centro Tlaxcala de Biología de la Conducta, Universidad Autónoma de Tlaxcala.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías por el apoyo recibido durante la maestría (Número de beca:833454).

A los miembros del comité tutorial Dra. Margarita Martínez Gómez, Dr. Amando Bautista Ortega, Dra. Verónica Reyes Meza y Mtra. Sonia Georgina Olguín García.

A la QFB Laura García Rivera, por el apoyo técnico brindado durante la realización de este proyecto.

### **Agradecimientos a título personal**

A mi familia, por brindarme todo su apoyo incondicional y motivación para continuar mi desarrollo profesional.

A mis codirectores y comité tutorial, por darme la oportunidad de realizar este proyecto.

A los integrantes de la Oficina de Comunicación de la Ciencia, con quienes pude compartir mi pasión por la divulgación.

A los integrantes del Laboratorio de Psicobiología del Desarrollo, con quienes pude explorar mis intereses académicos.

A mis compañeros de generación, por todos los momentos amenos y la inspiración para seguir adelante.

A mi novia y amigos, quienes no dejaron de acompañarme a lo largo del camino.

## RESUMEN

La comunicación de la ciencia es un campo interdisciplinario que estudia las teorías y prácticas empleadas por investigadores y comunicadores de la ciencia con el propósito de facilitar el acceso y el entendimiento de la información científica por parte de públicos diversos, así como los procesos sociales que median la difusión de información. En el contexto de la conservación de la biodiversidad, es crucial comprender cómo es que estos procesos afectan el flujo de información entre las comunidades científicas y otros actores sociales, así como su impacto sobre la adopción de conductas y toma de decisiones en favor del ambiente, a fin de diseñar planes de comunicación adecuados que promuevan la colaboración y participación ciudadana. En el presente trabajo se desarrolló un modelo teórico basado en métodos computacionales que describe las dinámicas sociales de flujo de información entre agentes en una red social.

De acuerdo con los resultados, este modelo sugiere que: 1) La respuesta emocional de los individuos funciona como un regulador del flujo de información dentro de una red social. 2) La variabilidad en actitudes de los individuos genera una elevada heterogeneidad en los patrones de participación. 3) En una red social cuya estructura es fija, las dinámicas de participación alcanzan rápidamente una región estable que limita la incorporación de nuevos participantes. Estos resultados son congruentes con trabajos previos reportados en la literatura especializada, y enfatizan la importancia de las interacciones sociales y de la comunicación emocional en los procesos de difusión de información científica. No tomar en cuenta estas dinámicas de comunicación en el desarrollo e implementación de planes de conservación de la biodiversidad puede limitar el crecimiento de las audiencias y restringir el flujo de información.

## GLOSARIO

**Actitud:** Disposición positiva o negativa de un individuo en relación a un tema o persona.

**Conducta pro-ambiental:** Acción que realiza un individuo con el fin de favorecer la conservación del ambiente.

**Conservación de la biodiversidad:** Acciones llevadas a cabo con el fin de preservar a una o varias especies y sus ambientes naturales.

**Difusión:** Transmisión de información o comportamientos entre individuos.

**Ecosistema:** Conjunto delimitado de seres vivos y el ambiente en el que habitan, así como sus interacciones.

**Flujo de información:** Conjunto de pautas de comunicación de un grupo o grupos de individuos.

**Homofilia:** Tendencia de un individuo de relacionarse preferentemente con individuos de características similares.

**Integridad:** Capacidad de un sistema de mantener su configuración interna.

**Modelo:** Representación simplificada de un fenómeno natural o social.

**Modularidad:** Tendencia de un sistema de segregarse en grupos.

**Polarización:** Proceso social en el que dos grupos adoptan posturas contrarias.

**Red social:** Representación de un grupo de individuos y sus interacciones.

**Resiliencia:** Capacidad de un sistema de regresar a su estado inicial después de haber sufrido una perturbación.

**Respuesta emocional:** Reacción psico-fisiológica que un individuo experimenta frente a un estímulo.

**Sistema complejo:** Conjunto delimitado de elementos que interaccionan entre ellos de forma altamente irregular, y cuyas interacciones generan comportamientos colectivos novedosos que no pueden explicarse como la suma de sus partes.

**Sistema social:** Conjunto delimitado de individuos que interactúan de forma regular.

**Socio-ecosistema:** Conjunto delimitado de componentes naturales y humanos que interactúan entre ellos.

## ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| 1. INTRODUCCIÓN.....   | 1  |
| 1.1 Comunicación de la ciencia para la conservación de la biodiversidad..... | 6  |
| 1.2 Modelos de comunicación de la ciencia .....                              | 12 |
| 1.4 Componentes psico-sociales de la comunicación de la ciencia.....         | 19 |
| 1.4 Perspectiva sistémica de la comunicación .....                           | 26 |
| 1.5 Comunicación de la ciencia institucional en el CTBC .....                | 28 |
| 2. ANTECEDENTES .....  | 32 |
| 3. JUSTIFICACIÓN.....  | 35 |
| 4. OBJETIVOS.....  | 36 |
| 4.1 Objetivo general.....  | 36 |
| 4.1 Objetivos específicos.....   | 37 |
| 5. METODOLOGÍA.....  | 37 |
| 5.1 Modelado cualitativo .....   | 37 |
| 5.2 Modelado cuantitativo.....   | 38 |
| 6. RESULTADOS .....  | 42 |
| 7. DISCUSIÓN.....  | 46 |
| 8. CONCLUSIÓN.....   | 51 |
| 9. PERSPECTIVAS .....  | 52 |
| 10. REFERENCIAS .....  | 53 |
| 11. ANEXOS .....   | 77 |

## 1. INTRODUCCIÓN

La comunicación de la ciencia es un campo de estudio que se sitúa en la intersección entre el conocimiento científico y su comprensión pública. Este campo aborda cómo los avances científicos y las investigaciones son transmitidos, entendidos y asimilados por las audiencias, tomando en cuenta la diversidad e interconectividad de sus muchos elementos, que incluyen tanto a las organizaciones e individuos involucrados, así como los mensajes, objetivos, formatos y medios empleados para la comunicación (Burns y cols. 2003). De acuerdo a Levin y De Filippo (2021), el área de investigación de la comunicación de la ciencia ha tenido una rápida evolución en las últimas décadas, con una clara tendencia hacia la búsqueda de objetivos que tienen que ver con la democratización de la ciencia y la construcción del conocimiento, con un énfasis en la relación entre ciencia y sociedad. En particular, estos autores destacan que los estudios en el área se enfocan crecientemente en comprender cómo es que la comunicación científica afecta diferentes dinámicas sociales que afectan los patrones de flujo de información entre diferentes comunidades, así como en el papel de las organizaciones científicas en la diseminación de información entre el público general.

El conocimiento científico es necesario no solo para los científicos, sino también para la vida diaria de cualquier ciudadano. Las decisiones que las personas toman día con día tienen importantes efectos sobre su salud, la sociedad y la integridad del ambiente. A fin de tomar decisiones informadas, cada individuo requiere contar con acceso a la información relevante (Fischhoff 2013). Dicha información es facilitada por medio de dinámicas de difusión que ocurren en el sistema social dentro del cual cada individuo se encuentra inmerso. La difusión, en este contexto, puede ser definida como el proceso mediante el cual cierta información es transmitida entre los miembros de un sistema social, a través de un canal o canales dados (Rogers 2003). Este continuo intercambio de información entre individuos constituye la base que permite la emergencia de complejas redes sociales de comunicación a través de las cuales los miembros de un sistema social comparten información relevante para su supervivencia, tanto a nivel individual como colectivo (Pasquaretta y cols. 2014).

Según Schuster y Kolleck (2020) las dinámicas sociales que median la difusión de información en un sistema social están fuertemente influidos por diferentes factores como los actores sociales que constituyen las redes de comunicación, la estructura de estas redes, así como los medios de comunicación a través de los cuales ocurren las interacciones que permiten la transmisión de información de un individuo a otro. Estos factores pueden facilitar o limitar el flujo de información dentro del sistema social, determinando en gran medida la información a la que cada individuo tiene acceso (de Lange y cols. 2019). Ya que cada actor dentro de una red social toma decisiones en respuesta a la información a la que tiene acceso, el flujo de información en una red social tiene un impacto directo en el comportamiento de los individuos, así como en la adopción de diferentes prácticas sociales (Ross y cols. 2023). Dicha transferencia de información puede ocurrir a través de interacciones sociales facilitadas por diferentes medios o canales de comunicación. Muchas de estas interacciones consisten en conversaciones entre personas que viven o coinciden en la misma área geográfica, si bien en años recientes el desarrollo de nuevas tecnologías de comunicación ha facilitado que muchas de estas interacciones sean mediadas a través de plataformas digitales.

De acuerdo a Amelia y Balqis (2023) las plataformas digitales han transformado notablemente los patrones tradicionales de comunicación, incrementado la conectividad a nivel global, y generando nuevas normas de comunicación. Por ejemplo, los patrones de disseminación de información en plataformas digitales se han asociado con una mayor propagación de desinformación (Samantray y Pin 2019) y con la emergencia de polarización (Zarei y cols. 2024). Estos fenómenos están relacionados con la tendencia natural de las redes sociales a subdividirse en comunidades o módulos, atributo conocido como modularidad (Newman 2006). La polarización ocurre cuando los miembros de cada comunidad exhiben opiniones, actitudes o conductas que están en concordancia preferentemente con la de otros integrantes del mismo grupo, al mismo tiempo que son contrarias o antagonistas de las posturas de grupos diferentes. Este fenómeno está explicada a nivel psicológico como la tendencia de los individuos de adoptar puntos de vista que refuerzan la opinión de las personas o grupos con quienes comparten algún tipo de relación significativa, lo que los lleva a procesar la evidencia científica de manera selectiva, a fin de promover el interés emocional de su grupo de pertenencia (Kahan 2010).

Dicha selectividad en el proceso de información facilita la difusión de desinformación en grupos con posturas extremas o fuertemente arraigadas, lo cual puede impactar directamente sobre el apoyo ciudadano hacia políticas públicas que tienen que ver con temas científicos. Se ha observado, por ejemplo, que la afiliación política tiene una marcada influencia sobre la priorización de temas de conservación de la biodiversidad, como el manejo de especies amenazadas y el control de enfermedades zoonóticas (Casola y cols. 2022).

Así mismo, existe evidencia que sugiere que este tipo de patrones sociales están involucradas en la estructuración de las comunidades científicas y en la formación de las audiencias que participan en la comunicación de la ciencia. Según un estudio realizado por Yang y cols. (2023) las dinámicas de comunicación de información científica en plataformas digitales están determinada por las características individuales de los usuarios. Algunos individuos presentan una mayor disposición a compartir información científica que otros. Estos usuarios suelen formar audiencias que comparten contenido científico de forma constante, generando patrones de diseminación de información estables. En contraste, audiencias más casuales suelen estar formadas por individuos con una mayor sensibilidad a información polémica o sensacionalista, por lo que estos individuos comparten información de forma irregular. De acuerdo a este estudio, la tendencia de una persona de participar en la difusión de información científica está fuertemente influenciada por factores psicológicos, lo que a su vez determina la forma en la que las audiencias se estructuran, formando subgrupos constituidos por individuos con características similares. Esta dinámica implica que la información compartida por usuarios de redes sociales se difunde preferentemente dentro de dichos subgrupos.

De acuerdo a Cotê y Darling (2018) la mayoría de los científicos que usan la plataforma digital X (conocido previamente como Twitter) para comunicar sus investigaciones tienen audiencias compuestas mayormente por otros científicos. Evidencia anecdótica sugiere que una importante proporción de las personas que participan en actividades de comunicación de la ciencia están vinculadas con científicos, ya sea por ser parte de sus familias o grupos de amigos. La tendencia de un individuo a asociarse con otras personas similares es denominada homofilia (McPherson y cols. 2001). Dicha similitud puede referirse a compartir las mismas preferencias políticas, pasatiempos, nivel educativo o pertenecer a la misma religión u otros tipos de congregación.

Las redes sociales altamente homofílicas exhiben una marcada homogeneidad en su composición respecto a varias características socio-demográficas, conductuales e intrapersonales, lo cual limita la información a la que están expuestos los individuos que forman parte de tales redes. Bessi y cols. (2016) argumentan que grupos sociales altamente homofílicos tienden a diseminar desinformación más fácilmente a través de la plataforma Facebook. Birdsong y cols. (2024) señalan que características tales como las actitudes e identidades sociales de las audiencias incrementan la probabilidad de polarización en temas relacionados con la conservación de la biodiversidad. Además, se ha observado que características demográficas como la edad están relacionadas con el esfuerzo que los individuos invierten en procesar información científica (Oheler y cols. 2024). Estos efectos pueden exacerbar la tendencia tanto de científicos como de comunicadores de la ciencia de dirigir sus esfuerzos de comunicación hacia determinados públicos en detrimento de otros, resultando en la marginalización de minorías y grupos vulnerables (Judd y McKinnon 2021).

Aranda-Fragoso y cols. (2020) remarcan que las instituciones académicas, paradójicamente, juegan muchas veces un papel periférico en las redes de comunicación de información científica. Dichos autores explican que la falta de estrategias diseñadas para la socialización del conocimiento científico dificulta que la información llegue a todos los públicos pertinentes. Además, las interacciones entre las comunidades científicas y comunidades no asociadas con la esfera académica suelen ser débiles, siendo con frecuencia negativamente afectadas por opiniones y actitudes negativas hacia la ciencia. Por otro lado, los patrones de flujo de información se estructuran de forma diferente de acuerdo al área científica en cuestión, como consecuencia de la manera en la que el público participa en el intercambio de información sobre ciertos temas en plataformas digitales. Se ha observado que los usuarios tienden a compartir de manera interactiva información relacionada con temas de medicina y salud pública, en comparación con temas de economía (Yang y cols. 2023)

A fin de optimizar el intercambio de información científica entre diferentes actores sociales, las instituciones de investigación requieren participar activamente en el establecimiento de espacios para el dialogo y la construcción del conocimiento (Kadykalo y cols. 2020). El área de conservación de la biodiversidad es uno de los campos de la ciencia en el que se ha observado

un creciente énfasis alrededor del estudio de las teorías y prácticas de comunicación dirigidas a fomentar cambios conductuales, así como una participación activa por parte de públicos diversos (Toomey 2023). En este sentido, una transmisión lineal de conocimiento entre las comunidades científicas y el público no es suficiente para generar cambios significativos. Esto es debido a que la interpretación de la información científica por parte de diferentes actores sociales varía notoriamente en función de los valores, prácticas, comportamientos y conocimientos locales de las audiencias a las que se dirigen (Yletyinen y cols. 2021). El éxito de la comunicación de la ciencia, en estos contextos, depende del grado en el que las idiosincrasias de los públicos objetivo sean reconocidas por científicos y comunicadores. Esto implica incorporar adecuados modelos de comportamiento humano que reflejen la compleja interrelación entre las sociedades humanas y los sistemas naturales de los que dependen (Schill y cols. 2019).

Con el propósito de facilitar la difusión de conocimiento científico, es deseable emplear estrategias de comunicación que permitan llegar a públicos diversos más allá de las comunidades científicas, así como incentivar el diálogo inclusivo entre diferentes actores sociales a fin de evitar la polarización y el efecto de “cámara de eco”, en el que las comunidades solo aceptan información que coincide con sus creencias pre-existentes, excluyendo toda opinión disidente (Cinelli y cols. 2021). Para fortalecer la conexión entre comunidades científicas y otros públicos, es necesario generar apropiados procesos de comunicación entre ciencia y sociedad, así como mejorar el entendimiento de los factores que afectan tales procesos. En el presente trabajo se desarrolló un modelo teórico para describir la diseminación de información científica sobre temas de conservación de la biodiversidad en una red social simulada mediante métodos computacionales. Este modelo es el resultado tanto de una revisión bibliográfica de la literatura especializada en comunicación de la ciencia, como de las experiencias y contribuciones de investigadores y comunicadores del Centro Tlaxcala de Biología de la Conducta (CTBC). A fin de generar conocimiento explícito y formal, que pueda ser de utilidad para el desarrollo de planes de comunicación que integren la dimensión social de la conservación de la biodiversidad, se emplearon bases teóricas tomadas del área de sistemas complejos, específicamente la teoría de redes complejas. La conceptualización de las

interacciones sociales dentro de la comunidad que participa en la comunicación de la ciencia en plataformas digitales como un sistema complejo, permitió articular los diferentes componentes comunicativos y sociales que influyen sobre la efectividad de planes de comunicación. En los apartados subsecuentes, se ahonda en las bases conceptuales que sustentan el modelo, para luego hacer una descripción técnica del mismo. Finalmente se discuten los resultados en el contexto de la conservación de la biodiversidad.

### 1.1 Comunicación de la ciencia para la conservación de la biodiversidad

La pérdida y degradación de la biodiversidad es uno de los problemas ambientales más apremiantes a los que se enfrenta la sociedad actual, dado el papel de la biota natural en la resiliencia de los ecosistemas y su relación con las comunidades humanas. Holling (1973) introdujo el concepto de resiliencia ecológica para referirse a la capacidad de los sistemas naturales de persistir en su estructura y función, pese a la presencia de perturbaciones, ya sean de origen natural o antropogénico. El funcionamiento de los ecosistemas depende de una compleja red de interacciones entre sus componentes bióticos, que incluyen plantas, animales y otros organismos. Estas interacciones son también la base que sustenta servicios ecosistémicos como la polinización (Bascompte y Jordano 2007) y la dispersión de semillas (Rubalcava-Castillo y cols. 2020). La resiliencia de un ecosistema está determinada por la dinámica de flujo de materia y energía a través de sus redes tróficas, la cual es modulada por la diversidad de interacciones ecológicas que se dan entre los seres vivos que las conforman, como depredación y mutualismos (Equihua y cols. 2020). Por lo tanto, la diversidad biológica es fundamental para el mantenimiento de los múltiples servicios que los ecosistemas proveen a las sociedades humanas, como el aprovisionamiento de recursos alimenticios, médicos, recreativos y culturales, además de que representan un eslabón crucial en los ciclos bio-geo-químicos que mantienen un constante abasto de agua y aire limpios para las personas (Norris 2012).

A fin de asegurar la provisión de servicios ecosistémicos por parte de la naturaleza, una de las políticas más extendidas ha sido el establecimiento de áreas naturales protegidas, en las cuales

se limitan al mínimo las perturbaciones humanas con el propósito de preservar el estado óptimo de los ecosistemas (Cumming y cols. 2015). Sin embargo, una comprensión más completa del funcionamiento de los sistemas naturales reconoce su interconexión con los sistemas sociales con los que se encuentran vinculados tanto espacial como temporalmente (Cumming 2016). Folke y cols. (2016) argumentan que, más que pensar en la resiliencia ecológica como una característica de los sistemas naturales en aislamiento, es necesario conceptualizar a la resiliencia como una propiedad de los sistemas socio-ecológicos que articulan los componentes naturales y humanos que operan dentro de la biósfera, y de los que depende la sustentabilidad de las sociedades humanas. Este enfoque enfatiza la imposibilidad de separar el desarrollo humano del funcionamiento del resto de la naturaleza, puesto que el bienestar humano en todas sus dimensiones depende en última instancia de los procesos naturales.

Cabezas y cols. (2005) hacen hincapié en la necesidad de que las estructuras sociales, entendidas en sus aspectos cultural, económico y político, aseguren la persistencia de las estructuras y dinámicas naturales, siendo la biodiversidad uno de sus componentes fundamentales. Dada la evidente relación entre actividades humanas y procesos ecológicos, existe un creciente interés en el desarrollo de intervenciones que tengan un impacto sobre políticas de conservación de la biodiversidad y promuevan la adopción de conductas favorables hacia el ambiente, también llamadas conductas pro-ambientales, entre amplios sectores de la población, en especial en aquellos con un vínculo directo con el manejo de fauna silvestre y tomadores de decisiones (Toomey 2023). La conservación, desde esta perspectiva sistémica, tiene como objetivo principal el crear, posibilitar y facilitar las condiciones para la persistencia de las especies y los procesos evolutivos, así como asegurar el mantenimiento de los elementos que son críticos para la resiliencia de los ecosistemas frente a perturbaciones (Cumming y Allen 2017). Las acciones de conservación ya no se limitan al interior de las áreas protegidas, sino que se busca promoverlas también en sus zonas adyacentes, así como en áreas rurales y urbanas.

En este contexto, la comunicación de la ciencia representa uno de los métodos más socorridos con el propósito no solo de informar al público sobre temas de conservación de la biodiversidad, sino también como una herramienta para fomentar la adopción de conductas pro-ambientales y la adecuada toma de decisiones en torno a la conservación y manejo de la biodiversidad, así

como para incentivar la participación de diferentes comunidades en acciones en favor de los ambientes naturales (Toomey y cols. 2016, Toomey 2023). Consecuentemente, tanto científicos como instituciones de investigación muestran un creciente interés y compromiso con la comunicación de evidencia científica y su difusión entre distintas audiencias (Bao y cols. 2024). En este sentido, el apoyo institucional ha mostrado ser uno de los factores determinantes en la disposición de los científicos para involucrarse en actividades de comunicación la ciencia (Rose y cols. 2019, Kimbrell y cols. 2022). Puesto que la degradación de la biodiversidad es el resultado de las acciones colectivas de las sociedades humanas, abordar este problema requiere acción colectiva por parte de la sociedad (Nielsen y cols. 2021), de ahí que las instituciones de investigación jueguen un papel fundamental no solo en la producción de conocimiento basado en evidencia, sino también en su socialización con diferentes públicos (Aranda-Fragoso y cols. 2019)

No obstante, no todos los actores sociales tienen el mismo impacto, ni tampoco juegan el mismo papel en lo que se refiere a la conservación de la biodiversidad (Rhodes y cols. 2020). Comunidades cercanas a áreas naturales protegidas, así como gremios tales como los de pescadores y agricultores tienen un rol particularmente importante, por su cercanía o contribución en el manejo de recursos naturales vinculados con el uso y conservación de la biodiversidad. A pesar de esto, los planes de comunicación de la ciencia suelen diseñarse con un “público general” en mente, ya que conceptualizar al público como una población homogénea es más sencillo de implementar que reconocer la diversidad y heterogeneidad de las audiencias (Simis y cols. 2016). Este es uno de los factores que han contribuido a la existencia de una clara brecha entre el conocimiento producido mediante investigación científica y su implementación en planes de conservación de la biodiversidad (Cazalis y cols. 2022). Salvar esta brecha requiere de involucrar a las audiencias locales mediante diferentes medios y estrategias, lo que incluye comunicación a través de plataformas digitales y diálogos en persona (Sabo y cols. 2024). Aunque este hecho es claramente reconocido por una importante proporción de científicos del área de conservación de la biodiversidad y afines, quienes rutinariamente llevan a cabo actividades de comunicación con el fin de concientizar al público e impulsar la toma de acción, la carencia de adecuadas estrategias comunicativas basadas en evidencia y

respaldadas por apropiados modelos teóricos de comportamiento humano, puede llevar a que los esfuerzos realizados sean infructuosos o incluso contraproducentes (Toomey 2023). La falta de evaluación de la comunicación representa otra importante dificultad. Stofer y cols. (2023) señalan que, pese a sus mejores intenciones, los científicos rara vez evalúan la efectividad de sus propias actividades de comunicación, además de que con frecuencia experimentan una marcada discordancia entre lo que consideran participación significativa con el público y las acciones que llevan a cabo en la práctica. Muchos científicos tienden a emplear conceptualizaciones vagas de los términos “participación” y “público”. Esta falta de especificidad dificulta llevar a cabo adecuadas evaluaciones de los programas de comunicación, en especial aquellos relacionados con temas de conservación. La carencia de una apropiada operacionalización de lo que “participación” significa imposibilita establecer mecanismos efectivos y sostenibles para alcanzar objetivos comunicativos (Weingart y cols. 2024).

Dado que la falta de conocimientos es considerada como uno de los principales obstáculos para promover la adecuada toma de decisiones por parte de la ciudadanía, gran parte de los esfuerzos de los comunicadores se ha dirigido a educar a la sociedad sobre temas relacionados con la biodiversidad, así como en aumentar el entendimiento por parte del público de los problemas ambientales y el acceso a información basada en evidencia (Bickford y cols. 2012, Toomey 2023). Esto bajo la premisa de que el conocimiento está directamente vinculado con la toma de acciones en favor del ambiente (Jordan y cols. 2009) y con la formación de actitudes positivas hacia la biodiversidad y la ciencia (Bruckerman y cols. 2021). Sin embargo, múltiples estudios sugieren que esta relación es más bien no-lineal, estando fuertemente influenciada por el contexto socio-cultural (Linder y cols. 2022), y por fenómenos como la polarización (Mønsted y Lehmann 2022) y la indulgencia de evidencias. Sutherland y Wordley (2017) definen la indulgencia de evidencias como la tendencia por parte de practicantes de la conservación, tomadores de decisiones y público en general de no consultar evidencia científica a la hora de llevar a cabo acciones de conservación, ni de evaluar la efectividad de las acciones realizadas. Como consecuencia, prácticas bien intencionadas efectuadas por parte de la ciudadanía con el deseo de contribuir a la conservación de la biodiversidad pueden desencadenar efectos adversos. Por ejemplo, la popularidad del uso de alimentadores artificiales de colibríes en jardines urbanos

ha sido vinculada con potenciales perturbaciones sobre las interacciones planta-polinizador, afectando la polinización de especies florales nativas, y conllevando un incremento en el riesgo de infecciones por bacterias y hongos entre las aves que visitan un mismo alimentador (Echeverry-Galvis y cols. 2024). De forma similar, la provisión de alimento a otras especies se ha asociada con alteraciones en su conducta, como mayor tolerancia hacia los humanos y osadía en mamíferos que habitan en zonas urbanas (Steyaert y cols. 2014).

Kadykalo y cols. (2020) explican que la indulgencia de evidencias es principalmente debida a una carencia de material informativo que sea de fácil acceso para practicantes de la conservación y otros actores sociales, además de una inadecuada promoción de la información ya existente entre públicos diversos. Sin embargo, autores como Toomey y cols. (2016) argumentan que la brecha existente entre la investigación y la implementación de adecuadas prácticas de conservación basada en evidencia se debe, más que a una carencia de información suficiente, a una falta de comprensión de los valores, normas, comportamientos y acciones que sustenten una efectiva toma de decisiones. Este tipo de consideraciones muchas veces faltan en intervenciones que buscan fomentar conductas pro-ambientales, puesto que suelen enfocarse en intentar generar cambios conductuales mediante la construcción de motivación intrínseca a través de procesos racionales, como el buscar incrementar el nivel de conocimiento de las audiencias, a pesar de que este enfoque es probablemente insuficiente para producir cambios a largo plazo (Linder y cols. 2022). Este problema se ve agravado por un limitado estudio de las dimensiones sociales de la conservación y su integración en el desarrollo de intervenciones de comunicación basadas en evidencia, así como por la dificultad de operacionalizar variables psico-sociales y conductas de interés para la conservación de la biodiversidad, como actitudes, identidad y normas sociales, así como valores y creencias, entre otras (Ghoddousi y cols. 2021).

Las intervenciones que buscan primariamente proveer de información a las audiencias están con frecuencia sustentadas en modelos simplistas del comportamiento humano, que consideran a los individuos como agentes puramente racionales que toman decisiones perfectamente lógicas y guiadas por interés propio. Este entendimiento mecanístico y determinista del ser humano está históricamente ligado a estudios en el área de la economía, de ahí que se les ha llamado *Homo economicus* a estos hipotéticos agentes, cuya conducta es estrictamente racional (Schill y cols.

2019). En contraste, reconocer la complejidad del comportamiento humano implica entender la importancia de los contextos socio-culturales y la diversidad de influencias que mueven a las personas a tomar una decisión u otra. Esta perspectiva es esencial para desarrollar estrategias de comunicación que sean adaptativas y puedan responder adecuadamente a las necesidades de los diferentes públicos, de tal forma que coadyuven efectivamente en el mantenimiento de la resiliencia de los ecosistemas, tomando en cuenta la compleja red de interacciones entre actores sociales y componentes naturales (Wang y cols. 2024).

La conservación de la biodiversidad a largo plazo depende de la participación de las comunidades locales, por lo que investigadores y comunicadores de la ciencia requieren no solo transmitir información relevante a las audiencias, sino también incentivar su involucramiento en acciones de conservación. Esto implica tomar en cuenta las necesidades y puntos de vista de los practicantes de la conservación y las comunidades locales con las que estos interactúan, así como construir espacios para el diálogo y la cooperación entre investigadores y tomadores de decisiones (Kadykalo y cols. 2020). El éxito en la implementación de planes e intervenciones diseñados con este propósito depende de factores sociales tales como el compromiso de las instituciones locales, la distribución equitativa de potenciales beneficios, la provisión de capital social y el fomento de creencias culturales favorables (Brooks y cols. 2013). Estos factores operan en diferentes escalas, desde el nivel individual al colectivo, de ahí que sea necesario integrar modelos de comportamiento humano que vinculen los atributos y conductas de los individuos con las dinámicas de la esfera social y ambiental dentro de las que se encuentran embebidos (Dobson y cols. 2022). Si bien las intervenciones a nivel individual, aquellas que son dirigidas a un tipo de actor en concreto, son un componente importante para alcanzar metas de sustentabilidad, por sí mismas son insuficientes para garantizar la resiliencia de los ecosistemas. Esto es debido a que problemas como la pérdida de la biodiversidad no son causados por un tipo de acción en específico efectuada por un actor en particular, sino que son el resultado de la agregación de múltiples conductas y decisiones tomadas por una diversidad de actores sociales, a través de extensas escalas espaciales y temporales, por lo que su abordaje requiere también de intervenciones a nivel de población (Nielsen y cols. 2021). Estas intervenciones requieren, por tanto, estar basadas en adecuados modelos de comunicación de la ciencia, que sean

seleccionados en virtud de las metas perseguidas por investigadores y comunicadores, así como en las características de las audiencias a las que se dirijan.

## 1.2 Modelos de comunicación de la ciencia

Las metas de la comunicación de la ciencia, en sus dimensiones tanto práctica como investigativa, son diversas. De acuerdo a Kappel y Holmen (2019), los principales objetivos de la comunicación de la ciencia contemplan el generar confianza, aceptación social y respaldo político de la ciencia, mejorar las creencias alrededor de la misma, así como incidir en el aprovechamiento del capital social local. Para alcanzar tales metas, se suelen usar una variedad de modelos de comunicación de la ciencia que pueden ser agrupados en dos categorías. Por un lado, aquellos que responden al paradigma de diseminación, en el que la comunicación es transmitida de forma unidireccional, desde los expertos hacia el público, y donde el principal objetivo es la transmisión efectiva de información. Este paradigma es claramente representado por el llamado modelo de déficit. Por el otro lado, el paradigma de participación pública se preocupa por fomentar el diálogo, el debate y la colaboración entre expertos científicos y otros actores sociales, por lo que favorece la comunicación bidireccional entre los diferentes participantes.

Existe actualmente una fuerte tendencia a favorecer modelos de comunicación que se adhieren al paradigma de Participación Pública, como es el caso del modelo de comunicación pública de la ciencia, dado que estos modelos reconocen explícitamente la heterogeneidad de los públicos a los que se dirigen y toman en cuenta el contexto social de los individuos. Aun así, Kappel y Holmen también afirman que es el objetivo específico que se persigue el que determina cual modelo o paradigma es más conveniente aplicar. En escenarios donde la meta es la educación formal o la mera transmisión de información, como son los casos de las escuelas y universidades y los medios de comunicación masiva, el paradigma de diseminación es el más adecuado. No obstante, dado que las causas próximas de la pérdida de la biodiversidad son el resultado de complejos procesos sociales, el paradigma de participación pública es visto por diferentes autores como el más adecuado para servir como base de programas de comunicación para la

conservación de la diversidad (Sakurai y cols. 2015, Klein y Arts 2021) ya que este toma en consideración la diversidad de actores que están involucrados en la alteración de los ecosistemas y la concomitante pérdida de biodiversidad, así como la complejidad de sus comportamientos, tanto a nivel individual como colectivo.

Bajo el paradigma de participación pública se agrupan distintas modalidades de comunicación de la ciencia, que incluyen a la ciencia ciudadana, las ferias de ciencia, la planeación participativa, entre otras. Todas estas tienen en común el buscar fomentar el diálogo entre todos los participantes y su involucramiento en actividades científicas. Por ejemplo, la ciencia ciudadana es una modalidad de comunicación de la ciencia en la que los ciudadanos toman parte en el proceso de investigación, generalmente mediante la recolecta de datos, y que es cada vez más empleada en relación a la conservación del ambiente (Fraisl y cols. 2022). Este tipo de iniciativas se favorecen de los avances tecnológicos que permiten a los ciudadanos hacer registros de fauna silvestre mediante sus dispositivos móviles, registros que son luego almacenados en bases de datos públicas, como son los casos de *iNaturalist* y *eBird* (Sullivan y cols. 2009). La participación en actividades de ciencia ciudadana ha demostrado promover efectivamente la adopción de conductas pro-ambientales, incrementar los conocimientos científicos de los participantes, así como su pensamiento crítico e interés por la ciencia (Bruckerman y cols. 2021, Peter y cols. 2021), sin mencionar la considerable generación de datos sobre biodiversidad que se generan a través de este tipo de actividades (Chandler y cols. 2017, Squires y cols. 2021, Chowdhury y cols. 2023, Prenda y cols. 2024). La información obtenida a través de este tipo de estrategias ha probado ser de gran utilidad para el monitoreo de especies amenazadas, especialmente en zonas urbanas, ya que los registros suelen estar correlacionados con variables demográficas (van der Wal y cols. 2015, Terry y cols. 2020, Sánchez-Clavijo y cols. 2021).

Una variante de la ciencia ciudadana es el monitoreo basado en comunidades, que se refiere al conjunto de estrategias de manejo de recursos naturales en los que se incluyen a la ciudadanía local y los tomadores de decisiones durante todo el proceso de planeación e implementación de proyectos de monitoreo ambiental (Conrad y Hilchey 2011, Fulton y cols. 2019). Este tipo de prácticas se apoyan en el uso de visualizaciones como lo son los diagramas de influencia,

diagramas causales y mapas interactivos como herramientas que facilitan la comunicación entre participantes y posibilitan la planeación participativa (Metze 2020, DeCock-Caspel y Vasseur 2021, Banitz y cols. 2022). Este tipo de visualizaciones no solo facilitan la comprensión de las interacciones entre los diferentes componentes de un sistema, sino que también ayudan a identificar puntos de intervención clave y a prever posibles escenarios futuros. Además, la incorporación de enfoques participativos en la creación de estas visualizaciones puede mejorar significativamente su relevancia y aplicabilidad, ya que permite integrar el conocimiento y las perspectivas de los diversos actores involucrados (Postert y cols. 2022, Enzingmüller y Marzavan 2024). La utilización de gráficos, ilustraciones, infografías y visualizaciones en presentaciones científicas y medios de divulgación no solo sirve para ilustrar datos, sino que también despierta el interés y la curiosidad del público (Lazard y Atkinson 2014). Este tipo de herramientas visuales ha acompañado la labor científica desde sus inicios históricos. Las representaciones visuales no solo complementan la información verbal, sino que también actúan como potentes herramientas para estimular la imaginación y la conexión emocional con los temas científicos. El lenguaje gráfico permite representar conceptos de una forma que facilita su comprensión tanto para públicos académicos como para aquellos más casuales. Particularmente para las ciencias biológicas, medios como la ilustración científica le han servido como una herramienta de registro de información desde épocas previas a la invención de la fotográfica hasta la actualidad. En tiempos modernos, las nuevas tecnologías de la información y comunicación, así como los avances en el área del desarrollo de software y computación, han permitido la creación de un amplio abanico de herramientas tecnológicas que han demostrado ser de gran utilidad para la comunicación de la ciencia mediante formatos visuales (Jiang y cols. 2023). De ahí que una de las fronteras de investigación que han surgido en el área de la comunicación pública de la ciencia es el estudio de cómo las audiencias responden a las visualizaciones y cómo es que los individuos procesan la información visual (Jensen y cols. 2022).

En la era digital, las redes sociales virtuales y plataformas multimedia han amplificado aún más el impacto de las imágenes en la comunicación científica (Rigutto 2017). Tal prevalencia de contenido visual puede explicarse como consecuencia de la forma en la que los seres humanos

recibimos información a través de los sentidos. Nuestra percepción sensorial esta marcadamente dominada por información proveniente del sistema visual. Las imágenes captadas por el ojo son transformadas en impulsos nerviosos por la retina y transmitidas al cerebro a través del nervio óptico para su procesamiento. La capacidad de las imágenes de funcionar como lenguaje y medio de comunicación está dada, en términos neurobiológicos, por las estructuras cerebrales relacionadas con el procesamiento de información visual y que sirven de sustrato a la cognición. Dentro de los procesos cognitivos, existen interacciones entre las vías de procesamiento de información visual y verbal y su interpretación como parte de modelos mentales. En consecuencia, pese a que la mayor parte de la información que entra al cerebro es de naturaleza visual, la expresión de esta información es muchas veces verbalizada antes de ser comunicada, por lo que se encuentra en última instancia sujeta a una organización de carácter lingüístico y determinada por estructuras intelectuales y sociales externas al individuo (Yankelevich 2018).

Pese a la clara dimensión cultural de las imágenes, las visualizaciones como parte de la comunicación científica son muchas veces conceptualizadas por los investigadores solamente como un medio para presentar información de manera clara y accesible. Rodríguez-Estrada y Davis (2015) argumentan que el uso de imágenes en la ciencia está dominado por las visualizaciones de carácter técnico, como gráficas, tablas y esquematizaciones, que están dirigidas al público especializado, mientras que se presta poca atención a la forma en la que se utilizan imágenes cuando el objetivo es conectar con públicos no especialistas.

Estudios en el área de la mercadotecnia han demostrado que las imágenes tienen un importante impacto sobre las actitudes afectivas y cognitivas hacia diferentes productos, remarcando su potencial persuasivo (Kim y Lennon 2008). En años más recientes, dentro de la comunicación de la ciencia se ha comenzado a incorporar la dimensión emocional como parte de sus prácticas e investigación (Flemming y cols. 2018, De Lange y cols. 2022, Guenther y Shanahan 2020). Un óptimo uso de visualizaciones requiere, además, reducir la carga cognitiva de los usuarios, dirigir su atención y respetar las convenciones gráficas propias de su contexto (de Jong 2010, Franconeri y cols. 2021). El concepto de carga cognitiva fue formulado por Sweller (1988), para referirse a las limitaciones en la capacidad de cada individuo para procesar información. El grado de estas limitaciones varía de persona a persona, y depende del nivel de conocimientos

previos (Cook 2006) y de la particular arquitectura cognitiva de cada individuo (Van Merriënboer y Sweller 2010, Sweller 2024). De ahí que el uso de visualizaciones constituya una estrategia efectiva para transmitir información relevante a públicos con diferentes niveles de conocimientos o alfabetización científica (Arcia y cols. 2013), si bien es importante considerar que la efectividad de las visualizaciones también depende del grado de alfabetismo visual de los individuos, entendido como el nivel de habilidades para decodificar, interpretar y crear información visual (Arneson y Offerdahl 2018, Franconeri y cols. 2021). Es por esto que el adecuado diseño de visualizaciones para la comunicación pública de la ciencia requiera de principios tomados de las áreas de psicología, sociología, diseño gráfico, artes visuales, entre otras (Otten y Cheng 2015, Guan y cols. 2022, Li 2023).

El propósito, en términos generales, de toda estrategia de comunicación de la ciencia es facilitar la transmisión de información entre la comunidad científica y un público determinado. Es por esto que en el diseño de las estrategias se han de tomar en cuenta las características del público objetivo y la meta que se busca alcanzar (Jensen y cols. 2023). Las particularidades de cada audiencia son sumamente variables y están determinadas por factores cognitivos, sociales y culturales, lo cual complica la tarea de desarrollar estrategias apropiadas. Como argumenta detalladamente Fischhoff (2018) uno de los mayores retos que enfrenta la Comunicación de la Ciencia son la coordinación de los diferentes elementos que conforman un plan de comunicación y los diferentes individuos que participan en diferentes etapas del proceso de planeación e implementación, así como la adecuada evaluación de los resultados de la aplicación de un plan de comunicación. La forma en la que una evaluación puede ser efectuada es relativamente evidente cuando el objetivo de la comunicación es modificar algún comportamiento observable, como incrementar tasas de vacunación o reducir consumo de agua o energía. Sin embargo, muchas veces lo que se busca en una intervención de comunicación no es cambiar comportamientos específicos, sino empoderar a la población a tomar decisiones mejor informadas o a involucrarse en temas científicos de interés público. En estos casos, la evaluación de los resultados es más complicada. Fischhoff explica que el empleo de diagramas de influencia y otros tipos de modelos formales como una técnica de análisis cualitativo hace posible

identificar factores relevantes para alcanzar objetivos de comunicación que no son evidentes a primera vista.

Como Banitz y cols (2022) puntualizan, al momento de desarrollar modelos formales, las presuposiciones de los investigadores y otros profesionales involucrados puede ofuscar la correcta identificación de variables de interés y por tanto el establecimiento de objetivos realistas. En un extensivo análisis, Dudo y Besley (2016) encontraron que la mayoría de los científicos en Estados Unidos tienden a priorizar como objetivos de comunicación el educar al público y el defender su postura como científicos frente a otros actores sociales con diferentes puntos de vista. Resultados similares han sido descritos para países europeos por Kessler y cols. (2022) quienes detallan que muchos comunicadores emplean el modelo de comunicación pública para subsanar lo que perciben como huecos en el conocimiento del público, lo que para efectos prácticos significa que lo emplean a la manera del modelo de déficit. Los objetivos de los científicos y de sus públicos pueden diferir considerablemente. Lawton y Rudd (2014) reportan que, desde la perspectiva de los científicos, las principales causas de la falta de uso de evidencia para el desarrollo de planes de conservación son la existencia de múltiples intereses políticos, la falta de apoyo gubernamental para investigación y un inadecuado sistema de toma de decisiones. En menor medida, también apuntan a la falta de comunicación y a una excesiva cantidad de información que dificulta a los tomadores de decisiones discriminar cual es la evidencia más relevante. En contraste, un estudio en el que examinaron las perspectivas del sector pesquero respecto a la comunicación con el sector académico, Aranda-Fragoso y cols. (2020) demuestran que la mayoría de los pescadores no toman en cuenta evidencia científica porque carecen de información sobre cómo comunicarse con los académicos. Estos autores resaltan lo dicho por uno de los miembros de la comunidad pesquera: “Muchas veces dejamos el problema pasar porque no tenemos conocimiento de a dónde ir”.

La creciente relevancia de la Comunicación de la Ciencia ha impulsado la expansión de este campo de estudio. El interés en conocer los mecanismos que median la difusión de información y conocimientos, así como el cambio de conductas y normas sociales, ha conjugado el trabajo neurobiólogos, psicólogos, científicos sociales y multitud de especialistas de diversas áreas, poniendo de manifiesto la naturaleza interdisciplinaria de la comunicación de la ciencia

(Fischhoff 2013; Pidgeon y Fischhoff 2011; Trench 2023). En el contexto ambiental, la evidencia soporta la idea de que la exposición a información sobre el cuidado de la naturaleza y la participación en plataformas digitales por parte de las audiencias puede impulsar la adopción de conductas en favor del cuidado del ambiente, en las que los ciudadanos realizan pequeños cambios en sus prácticas diarias, al mismo tiempo que motivan o influyen en otros para involucrarse en prácticas pro-ambientales (Büssing y cols. 2019, Guan y cols. 2022, Champine y cols. 2023, Meng y cols. 2023). Por esta razón, tanto investigadores como comunicadores han tomado a las plataformas virtuales como uno de sus medios principales para llevar a cabo actividades de Comunicación de la Ciencia (López-Goñi y Sánchez-Angulo 2018, Chen y cols. 2021, Bergman y cols. 2022). Gracias a esta tendencia, temas que previamente eran discutidos de manera restringida en esferas académicas, son ahora debatidos en ambientes virtuales donde participan tanto investigadores como miembros del público general, lo cual ha provocado considerables cambios en la forma en la que se llevan a cabo las prácticas de Comunicación de la Ciencia y en los enfoques teóricos que sustentan dichas prácticas (Taddicken y Krämer 2021).

Sobre esta línea de pensamiento, una mayor comprensión de los intereses y motivaciones que impulsan a los individuos a involucrarse en temas de conservación de la biodiversidad puede ayudar a científicos y practicantes a diseñar e implementar planes de conservación y manejo de la biodiversidad que incluyan la dimensión social, es decir, a las personas y comunidades que están en contacto directo con los ambientes naturales que se busca proteger (Bennett y cols. 2016). La comunicación de la ciencia juega un papel fundamental en este sentido, al ser el área que se enfoca en comprender cómo es que los diferentes medios y modalidades de comunicación contribuyen a la toma de acción en favor del ambiente, así como a la construcción de la percepción colectiva de la realidad y de la relación de la sociedad con la naturaleza (Bergillos 2021, Anderies y Folke 2024). Por lo tanto, adecuados planes de conservación requieren integrar planes de comunicación de la ciencia que tomen en cuenta las particularidades de las comunidades locales y que se sustenten en evidencia científica y modelos apropiados del comportamiento humano (Balmford y cols. 2021, Travers y cols. 2021).

#### 1.4 Componentes psico-sociales de la comunicación de la ciencia

La información a la que un individuo está expuesto, así como las personas con las que se relaciona, son factores que afectan su conducta de participación en actividades en favor del bien público (de Vreese y Boomgaarden 2006, Pujadas y Castillo 2007, Gerolemou y cols. 2022). Se ha demostrado que las relaciones sociales median el flujo de información entre personas y afectan la adopción de conductas pro-ambientales (De Lange y col. 2021, Yletyinen y cols. 2021, Champine y cols. 2023). Igualmente se ha observado que la forma en la que se organizan y comunican las personas en comunidades rurales vinculadas con áreas naturales protegidas tiene un considerable impacto sobre la efectividad del manejo y conservación de los recursos naturales, tanto a escala local como regional (Mills y cols. 2014, Mertens y cols. 2015, Alexander y cols., 2018, Farr y cols. 2018, Pereira y cols., 2021, Dahlberg y Sandström 2024). De manera similar, en áreas urbanas las interacciones sociales han sido identificadas como uno de los principales factores que favorecen la participación de la ciudadanía en acciones de conservación de la naturaleza (Sakurai y cols. 2015).

La comunicación de la ciencia no es un proceso unidireccional de transferencia de conocimiento, sino una interacción dinámica que involucra factores psico-sociales y comunicativos que determinan su eficacia. En el ámbito de la conservación de la biodiversidad, uno de los componentes psico-sociales que ha recibido mayor atención en la literatura especializada son las conductas pro-ambientales, las cuales pueden ser entendidas como todos aquellos comportamientos que son generalmente considerados por la sociedad, y por las ciencias ambientales y afines, como favorables para la protección del ambiente, o que contribuyen a la salud del ambiente (Krajhanzl 2010). Tales conductas pueden incluir actividades de reciclaje y compostaje, cuidado del agua, compra preferente de productos locales, así como participación en activismo ambiental y apoyo a organizaciones y políticas ambientales, entre otras. La tendencia de un individuo a practicar conductas pro-ambientales se ha asociado con diferentes factores psicológicos, tales como la personalidad (Lisboa y cols. 2024), valores e identidad personal (Balundé y cols. 2019), así como experiencias de contacto con la naturaleza (Ibañez-Rueda y cols. 2020, Blandford y cols. 2023, Teixeira y cols. 2023) y actitudes (Sockhill y cols.

2022). En particular, las actitudes son uno de los componentes de las conductas pro-ambientales más estudiados, siendo un sólido predictor de alrededor del 20 al 30% de la varianza en comportamiento pro-ambiental (McEachan y cols. 2016, Linder y cols. 2022).

Así mismo, la evidencia sugiere que un mayor nivel de conocimientos sobre el ambiente o sobre la biodiversidad está positivamente relacionado con la expresión de actitudes favorables hacia el ambiente y conductas pro-ambientales (Amoah y Addoah 2021). De acuerdo a un estudio llevado a cabo por Härtel y cols. (2023) el nivel de conocimiento de las especies que habitan el entorno inmediato de estudiantes de secundario influye positivamente las actitudes hacia el ambiente. Resultados similares son reportados por Bruckerman y cols. (2021), en relación con el uso de proyectos de ciencia ciudadana para promover actitudes positivas hacia el ambiente. De acuerdo con estos autores, el conocimiento previo de las especies locales afecta notablemente el desarrollo de actitudes positivas como resultado de participar en actividades de monitoreo comunitario de especies. Si bien estos estudios soportan la idea de que promover la difusión de mensajes y actividades que incrementen el conocimiento del público, favorece la formación de actitudes favorables hacia el ambiente, y en consecuencia la adopción de conductas pro-ambientales, otros autores hacen notar que esta relación está lejos de ser una de carácter lineal, y que más bien se encuentra fuertemente influida por factores psico-sociales (Redondo y Puelles 2016, Geiger y cols. 2019). Por ejemplo, se ha reportado que la percepción psicológica de la pérdida de biodiversidad como una amenaza lejana en el tiempo y poco relevante para la supervivencia inmediata del individuo está relacionada negativamente con la exhibición de conductas pro-ambientales (Bosone y Bertoldo 2022). Por otro lado, Xing y cols. (2022) reportan que tanto la identidad social como el nivel de confianza de los individuos influye sobre las actitudes que median las conductas pro-ambientales. La identidad social se refiere al grupo de pertenencia al cual el individuo se adhiere, el cual puede estar basado en diferentes demografías, roles sociales o afiliaciones. La confianza, por su parte, es definida como la intención de un individuo de aceptar las acciones o preferencias de otros como positivas. El término “otros” en este contexto se puede referir a otros individuos dentro de la sociedad, en cuyo caso se habla de confianza social, o bien a organizaciones o instituciones, definiéndose entonces como confianza institucional. Una persona tiende a aceptar información como cierta

más fácilmente cuando esta es recibida de una fuente que es considerada como confiable, o bien es parte del mismo grupo social que el individuo (Grignolio y cols. 2022).

De acuerdo con la taxonomía propuesta por Kappel y Holmen (2019), la promoción de actitudes positivas hacia la ciencia es uno de los principales objetivos de la comunicación de la ciencia, relacionada con la generación de aceptación social. Según estos autores, el modelo de diseminación ofrece estrategias que, en términos generales, permiten fomentar actitudes positivas hacia la ciencia mediante difusión de información científica y la promoción de creencias favorables hacia la ciencia. Sin embargo, este tipo de estrategias pueden ser ineficientes o incluso contraproducentes cuando se trata de temas que son considerados controversiales o polémicos por una población, como se ha observado en los casos de investigación en embriones humanos (Evans y Durant 1995), alimentos transgénicos (Gamez-Onofre y cols. 2024) e inteligencia artificial (Tully y cols. 2023). Las discrepancias en la relación entre conocimientos y actitudes reportadas en varios estudios pueden deberse a diferentes causas contextuales, o bien pueden estar relacionadas con la forma en la que la información es presentada al público.

Se ha reportado que variaciones en la presentación de información afectan la relación causal entre conocimientos y actitudes. Flemming y cols (2018) llevaron a cabo un estudio en el que manipularon las características visuales y textuales de folletos con información sobre fauna silvestre, específicamente sobre zorros, para evaluar el impacto sobre ganancia de conocimientos y formación de actitudes. Estos autores reportan que la combinación de textos estructurados en forma de narrativas e imágenes que muestran a la fauna silvestre de manera favorable tienen un efecto positivo tanto en ganancia de conocimientos como en formación de actitudes. En un estudio similar, Oheler y cols. (2024) encontraron que el uso de fotografías de animales en folletos informativos es más efectivo para incrementar el conocimiento de la audiencia que el uso de diagramas esquemáticos. Una posible causa de este efecto es la respuesta emocional de los sujetos frente a las imágenes. De acuerdo a un estudio realizado por Li y cols. (2023), la combinación de visualizaciones de datos y visualizaciones de carácter artístico es efectiva para elicitación de emociones positivas en sujetos a los que se les presentó material informativo sobre el cambio climático. Las emociones estéticas, como aquellas suscitadas al

observar ilustraciones o fotografías, han sido implicadas en el proceso de aprendizaje y en la comunicación interpersonal. Según Sarasso y cols. (2020), el encuentro de un sujeto con una imagen que le provoca una emoción estética genera una inhibición de su comportamiento motor, lo que, en términos prácticos, significa que el sujeto es inducido a detener cualquier actividad que se encuentre realizando para apreciar dicha imagen. Durante esta pausa, el sujeto experimenta un aumento en la atención dirigida a estímulos sensoriales, de tal forma que los recursos de procesamiento de información cerebrales se ven concentrados sobre la imagen que está siendo observada y esto, a su vez, promueve los mecanismos de aprendizaje que facilitan la adquisición de conocimientos. Este efecto es de particular relevancia para la Comunicación de la Ciencia, ya que el tiempo y atención que una persona dedica a procesar la información que recibe de un comunicador o medio de comunicación están directamente relacionados con su ganancia de conocimientos (Dobson y cols. 2019, Oheler y cols. 2024). Además, Li y cols. (2023) argumentan que las emociones estéticas pueden generar un distanciamiento entre el sujeto y sus preferencias políticas, lo que facilita que la información sea procesada de una manera más objetiva.

No obstante, Medin y Bang (2014) resaltan que la respuesta tanto emocional como cognitiva de un sujeto frente a una imagen está fuertemente influenciada por sus orientaciones culturales. Una misma representación visual puede ser percibida de manera diferente por individuos provenientes de diferentes culturas. Por otro lado, en el estudio de Oheler y cols. (2024) se reporta que el grado de atención dedicada a leer material informativo está fuertemente determinado por la edad y nivel educativo. Cuanto mayor la edad y nivel educativo del sujeto, mayor la probabilidad de leer un material informativo completo. El nivel educativo también se ha vinculado con conductas de polarización relacionadas con identidad social. Evidencia empírica sugiere que individuos con mayores niveles de conocimientos científicos y nivel educativo en general, tienden a expresar creencias más polarizadas que individuos con menores niveles educativos, esto en relación con diferentes temas considerados como polémicos por grupos políticos y religiosos, como es el caso del cambio climático, entre otros (Drummond y Fischhoff 2017, Drummond y Fischhoff 2019). Como Evans y Durant (1995) explican, la interacción entre conocimientos, creencias y actitudes en referencia a temas controversiales es

notoriamente más compleja que cuando se trata de temas sobre los que hay un consenso público más extendido. Por lo tanto, cuando un científico o comunicador se involucra con el público sobre un tema polémico, debe tomar en cuenta la potencial influencia que las orientaciones tanto políticas como culturales de su audiencia, puesto que estos factores pueden tener un impacto importante sobre la forma en la que un mensaje dado es interpretado (Vraga y cols. 2018).

La relación entre humanos y fauna silvestre puede ser, en muchas ocasiones, un tema controversial. Diversas especies animales son percibidas por diferentes grupos sociales como nocivas o indeseables, lo que genera conflictos en áreas donde poblaciones humanas interactúan de manera regular con fauna silvestre, como ocurre en las periferias de zonas urbanas (Basak y cols. 2023) o en áreas agrícolas (Mauri y cols. 2020). De acuerdo a Lecuyer y cols. (2022), la percepción que una persona o grupo social tienen sobre una especie afecta directamente las actitudes hacia dicha especie, las cuales a su vez influyen sobre su comportamiento y toma de decisiones. Tanto una elevada percepción de riesgo hacia una especie o una baja tolerancia pueden llevar a la generación de conflictos en los que diferentes partes o actores sociales toman acciones en contra de los intereses de otro. Por ejemplo, activistas ambientales e investigadores pueden entrar en conflicto con comunidades locales que practican caza de subsistencia, fenómeno que es muy común en zonas cercanas a áreas naturales, en especial cuando los pobladores de estos sitios sufren de pobreza extrema. Lo que los lleva a recurrir a la cacería para ayudar a subsanar sus carencias económicas (Oliva y cols. 2014, Francesconi y cols. 2018, Piña-Covarrubias y cols. 2022). Otras fuentes de conflicto son los ataques de animales salvajes hacia animales domésticos (Carral-García y cols. 2021, Racero-Casarrubia y cols. 2024), los daños a cultivos por parte de fauna silvestre (Can-Hernández y cols., 2019) y el riesgo de transmisión de enfermedades zoonóticas (Esteve-Gassent y cols. 2014). Algunos de estos conflictos se han visto exacerbados como consecuencia del cambio climático, como ocurre en áreas donde las intensas sequías obligan a animales silvestres a adentrarse en zonas residenciales en busca de agua, lo que con frecuencia termina en la muerte del animal (Pérez-Flores y cols. 2021). Otros factores socio-políticos y económicos que agravan este tipo de problemas son la desigualdad, expansión urbana no regulada y migración (Arroyo-Quiroz y cols. 2017, Fletcher y Toncheva 2021).

Con el propósito de promover la coexistencia entre humanos y fauna silvestre, así como de reducir las probabilidades de conflicto o mitigar conflictos ya existentes, diversos autores han propuesto el uso de estrategias de comunicación que fomenten emociones positivas en las audiencias (Buijs y Jacobs 2021, De Lange y cols. 2022, Garau y cols. 2024). Algunas de estas estrategias están relacionadas con la forma en la que la fauna silvestre es representada en los distintos medios de comunicación, como televisión, prensa o redes sociales, ya que estos juegan un papel crucial en la formación de la percepción pública sobre la naturaleza y su relación con las sociedades humanas. A través de estos canales de comunicación, los ciudadanos tienen acceso a información, mensajes y narrativas que influyen fuertemente su percepción alrededor de diferentes temáticas, de forma que, dependiendo de la forma en que la información es representada, se puede destacar la importancia de la conservación, alertar sobre el estado de vulnerabilidad de ciertas especies o, en algunos casos, trivializar o distorsionar la complejidad de los problemas ambientales. Esta influencia es particularmente relevante en un contexto donde muchas personas forman su opinión sobre el estado del ambiente a partir de lo que ven o leen en los medios, más que a través de experiencias directas con la naturaleza (Lyytimäki 2014).

Los medios de comunicación no solo informan, sino que también juegan un papel educativo y, en muchos casos, político, al influir sobre la opinión pública, y consecuentemente sobre qué temas reciben más atención o son considerados como relevantes o urgentes (Velado-Alonso y cols. 2024). Por tanto, los comunicadores deben tener en cuenta no solo el contenido informativo que buscan transmitir, sino también la posible respuesta emocional que las audiencias pueden tener frente a tal contenido. Es decir, la efectividad de la comunicación no depende solamente de la precisión o relevancia de los datos proporcionados, sino que también está determinada por la capacidad del mensaje para inducir en las audiencias respuestas emocionales que generen cambios positivos de actitud o comportamiento (Meng y cols. 2023). Individuos que experimentan emociones positivas durante la exposición a información científica tienden a expresar mayor confianza en los científicos y a percibirlos como competentes en mayor grado que individuos que experimentan emociones negativas (Drummond y Fischhoff 2020). Según Yi y Zhang (2022), la transmisión de emociones a través de plataformas digitales es mucho más rápida y de mayor alcance que la transmisión de mera información sin un encuadre emocional.

De acuerdo a un estudio realizado por Guenther y Shanahan (2020), es posible evocar emociones tanto negativas como positivas hacia la fauna silvestre en usuarios de plataformas digitales mediante el uso de una combinación de imágenes y narrativas textuales. A su vez, esta respuesta emocional puede cumplir un papel mediador en el cambio de actitudes hacia la fauna silvestre y diferentes formas de manejo de la misma. Actitudes positivas hacia la fauna favorece el apoyo de medidas de conservación y reubicación de fauna silvestre cuando ocurre conflicto con comunidades humanas, mientras que actitudes negativas facilitan que se recurra a medidas letales en el manejo de especies consideradas como nocivas por poblaciones locales. En otro estudio, Bruckermann y cols. (2021) encontraron que estrategias de comunicación que incrementan los conocimientos de las audiencias sobre temas de biodiversidad favorecen la formación de actitudes positivas hacia la ciencia. No obstante, según estos estudios, el exhibir actitudes positivas hacia la ciencia no conlleva a tener mayores conocimientos hacia la misma, sugiriendo una particular direccionalidad en la forma en la que los diferentes componentes psico-sociales se relacionan con los componentes comunicativos de las estrategias de comunicación.

Aunque este tipo de estudios permite conocer las relaciones causales entre algunos de estos componentes, la interpretación de sus resultados se ve limitada por el carácter lineal de sus diseños experimentales. Los sistemas sociales dentro de los cuales ocurre la comunicación de la ciencia están caracterizados por estructuras complejas y dinámicas no-lineales que presentan importantes bucles de retroalimentación tanto positiva como negativa, efectos que impactan directamente sobre el flujo de información entre individuos y actores sociales (de Lange y cols. 2021). Comprender la forma en la que se desenvuelven las dinámicas de comunicación dentro de estos sistemas complejos requiere una perspectiva holística e integral que permite articular la forma en la que se interrelacionan los diferentes componentes psico-sociales y comunicativos.

#### 1.4 Perspectiva sistémica de la comunicación

Para este trabajo, se propuso un abordaje desde la perspectiva de sistemas complejos, de acuerdo con la cual puede entenderse a la comunicación como un proceso que emerge a partir de las interacciones que ocurren entre diversos actores, mensajes y medios dentro de un entorno dinámico (Lock 2021). Este enfoque permite comprender cómo se generan, transmiten y transforman los patrones de flujo de información en contextos complejos como el de la conservación de la biodiversidad. Estos patrones dependen tanto de los componentes psicológicos de los individuos, como de las características del sistema social en su conjunto, así como del entorno dentro del cual los procesos comunicativos tienen lugar y la forma en la que las diferentes interacciones se articulan, conformando estructuras conocidas como redes sociales complejas (de Lange y cols. 2021). A través de estas redes, los miembros de una red transmiten no solo información entre ellos, sino también actitudes, conductas, normas e innovaciones sociales (Schuster y Kolleck 2020).

Las redes complejas son un tipo de modelo formal que permite conceptualizar, por un lado, los diferentes componentes de un sistema como nodos, y por el otro, las relaciones entre ellos como enlaces o vértices. En términos generales, el modelado formal es una de las dimensiones fundamentales del método científico que ha sido aplicado ampliamente en campos como biología molecular, ecología y sociología, y que ha permitido describir complejos procesos dinámicos, especialmente cuando existen efectos de importancia difíciles de analizar por otros medios, por ser sutiles o contra-intuitivos (Voit 2019). Este tipo de análisis ha permitido comprender procesos sociales tales como como toma de decisiones (Holehouse y Pollitt 2022), colaboración (Yang y cols. 2020) y formación de opiniones (Iñiguez y cols. 2012), así como estudiar las interacciones entre humanos y fauna silvestre (McLane y cols. 2011, Murphy y cols. 2020).

El estudio de redes sociales complejas se ha propuesto como una técnica capaz de vincular conductas individuales con patrones sociales, al permitir analizar los atributos de un sistema tanto en su escala microscópica, como macroscópica, y la forma en la que estos dos niveles de organización se relacionan (Duxbury 2024). Los patrones de flujo de información en un sistema

social son procesos macroscópicos que surgen a partir de los micro-eventos de comunicación que se dan entre los individuos. Las dinámicas propias de la micro-escala están relacionadas con las interacciones a nivel personal que se dan entre individuos y es gracias a estas interacciones en la micro-escala que emerge el continuo intercambio de información que las personas mantienen a través de sus contactos sociales, y que constituye el sustrato de las dinámicas de comunicación. Por otro lado, la macro-escala se refiere a las estructuras y actividades observadas desde un nivel sociocultural, político-económico, o histórico, y que son resultado de la agregación de los micro-eventos conductuales y comunicativos de los individuos. Dado que la información a la que los individuos tienen acceso determina en gran medida participación en actividades de conservación y la expresión de conductas pro-ambientales, las dinámicas de flujo de información, tanto en la escala microscópica como macroscópica, tienen una multitud de impactos directos e indirectos tanto sobre la diversidad biológica como sobre la resiliencia de los ecosistemas (Whitehead y cols. 2014, Equihua y cols. 2020, Gerber y cols. 2021).

En el caso de la comunicación de temas de biodiversidad, es importante de igual forma tomar en cuenta que toda práctica de comunicación ocurre dentro de entornos determinados no solo por las características de los sistemas sociales, sino también por la forma en la que se relacionan con elementos naturales (Dobson y cols. 2019). De acuerdo a este marco teórico, debemos considerar el efecto que tienen las dinámicas de comunicación sobre las acciones humanas, tanto a nivel individual como colectivo, y como es que estas actividades impactan a los sistemas naturales, con el fin de promover y conservar la resiliencia de los estos últimos. Aun así, de acuerdo a Dobson y cols. (2019) aún persiste una falta de integración entre modelos ecológicos y sociales, necesarios para vincular, por un lado, los componentes humanos y naturales de los socio-ecosistemas, y por el otro, los comportamientos individuales y colectivos de los actores sociales. Si bien la degradación de la biodiversidad es generada por procesos sociales que ocurren en una escala macroscópica, estos procesos sociales son generados por las conductas de los individuos en una escala microscópica, de ahí que sea necesario desarrollar planes y estrategias de comunicación que tengan en cuenta tanto la escala microscópica como la escala macroscópica, así como los diferentes actores sociales que influyen en cada una de ellas, con especial énfasis en las instituciones de investigación que participan tanto en la difusión de

información científica a nivel individual, a través de actividades de divulgación, como en la formación de redes de comunicación mediante la gestión de programas de conservación y comunicación en favor de la biodiversidad, así como el establecimiento de redes de colaboración con otros actores sociales (Aranda-Fragoso y cols. 2020, Schuster y Kolleck 2020).

### 1.5 Comunicación de la ciencia institucional en el CTBC

El CTBC es una institución dedicada a la investigación científica ubicada en el estado de Tlaxcala, México. En este centro se cuenta con líneas de investigación en biomedicina, conducta y biodiversidad en las cuales se producen constantemente nuevos conocimientos, muchos de los cuales conciernen directamente a las poblaciones locales, dado que tocan temas de interés social, como cuestiones ambientales o de salud. También se cuenta con una Oficina de Comunicación Pública de la Ciencia cuyo propósito es servir de puente entre la comunidad científica y las comunidades locales. En esta oficina colaboran cercanamente investigadores de las áreas biológicas, comunicólogos, diseñadores y otros profesionales de las ciencias sociales con la finalidad, entre otras, de generar contenidos divulgativos dirigidos a los diversos públicos con los que se tienen contacto. Debido a que el estado de Tlaxcala se encuentra en un área altamente amenazada por problemas de deterioro ambiental, como la urbanización y la contaminación, al ser parte de la megalópolis de la zona metropolitana del valle de México, una de las prioridades del CTBC es la difusión de información sobre temas de conservación de la biodiversidad.

El deterioro de los ambientes naturales se debe en gran medida a alteraciones que sufre la biota local como consecuencia de actividades humanas. Diversos estudios en este estado han demostrado múltiples efectos adversos de las actividades humanas sobre la biodiversidad local. Por ejemplo, se ha reportado que la presencia de transeúntes y vehículos, así como el ruido urbano, alteran las conductas de territorialidad de diferentes especies de aves (Mendiola-Islas y cols. 2022, Chavez-Mendoza y cols. 2023). De manera similar, cambios en los patrones de actividad de coyote y gato montés se han relacionado con presencia de humanos en campos agrícolas adyacentes a áreas naturales protegidas (Flores-Morales y cols. 2018). Estas

observaciones son probablemente debidas a un efecto de “*paisaje del miedo*”. De acuerdo a Suraci y cols. (2019), los humanos son percibidos como depredadores tope por la fauna silvestre, por lo que su sola presencia puede inducir notables cambios conductuales en muchos organismos, como consecuencia del temor de ser depredados, alterando a su vez procesos ecológicos como la dispersión y las interacciones entre depredadores y presas. Estos efectos son incluso más acentuados en zonas urbanas y peri-urbanas, donde factores socio-económicos, tales como el nivel de ingresos o la presencia de animales domésticos, determinan en gran medida la distribución de la biodiversidad y la estructuración de las comunidades ecológicas (Hassell y cols. 2020).

De manera similar, se ha demostrado que la severa fragmentación del hábitat observada en la región, la cual es consecuencia de los procesos de urbanización, ha afectado de manera importante el flujo genético entre poblaciones de especies arbóreas (Pérez-Alva y cols. 2024). Así mismo, el cambio de uso de suelo relacionado con la agricultura y la introducción de especies exóticas en jardines urbanos modifican las estructuras y dinámicas de las interacciones entre plantas y polinizadores (López-Vázquez y cols. 2024, Sánchez-Sánchez y Lara 2024). Muchas de estas alteraciones están directamente vinculadas con conductas humanas que modifican el comportamiento de la fauna silvestre. Con la meta de abordar estos problemas y contribuir a la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en la región, el CTBC lleva a cabo de manera continua diversas actividades de divulgación dirigidas a la población local, a fin de comunicar los resultados de las investigaciones realizadas en este centro, así como de crear consciencia sobre la importancia de los recursos naturales.

Estos esfuerzos forman parte de programas de comunicación como “Los Tesoros de la Malinche” en los que participan tanto investigadores como comunicadores de la ciencia, y que cuentan con diferentes estrategias de comunicación, incluyendo charlas en persona, difusión de información en plataformas digitales, así como actividades lúdicas. Dado que este programa busca promover actitudes y conductas pro-ambientales en las poblaciones de la región adyacente al Parque Nacional La Malinche, así como fomentar el apoyo ciudadano hacia la investigación científica en dicha área natural, es requerido un continuo desarrollo de las estrategias comunicativas empleadas, que tome en cuenta las necesidades y perspectivas de la población

local. Estas estrategias deben no solo facilitar el acceso a la información, sino también su adecuada interpretación.

De acuerdo a Choo (1996, 2002, 2017) el manejo estratégico de información permite a las organizaciones dar sentido a los cambios de su ambiente interno y externo, lo que a su vez facilita el proceso de toma de decisiones. Esto se logra mediante el desarrollo de planes de acción que simplifican el proceso de organización y manejo de información, al reducir el rango de situaciones y posibles acciones a tomar, disminuyendo la carga cognitiva en sus miembros individuales. La planeación es un proceso social que se sustenta en el principio de que el conocimiento es construido activamente a partir y mediante interacciones sociales (Abu-Orf 2005). Las organizaciones adquieren información acerca eventos, tendencias y relaciones que ocurren en su medio a través de las actividades e interacciones sociales de sus miembros, que incluyen tanto conversaciones informales, como estudios y análisis formales. Dicha información es luego usada por la organización para identificar riesgos y oportunidades, ganar ventajas competitivas y mejorar su planificación de corto, mediano y largo plazo. Los individuos dentro de una organización, a su vez, hacen uso de la información para desarrollar una mejor comprensión de un problema dado y así definir cursos de acción a tomar (Choo y cols. 2008).

Las instituciones de investigación abordan los problemas de la comunicación de la ciencia internamente a través de la interacción entre investigadores, comunicadores y practicantes con diferentes habilidades profesionales, que pueden incluir el diseño de materiales visuales, técnicas de mercadeo, o redacción y análisis de textos (Fischhoff, 2018). La comunicación de la ciencia es un campo intrínsecamente multidisciplinario en el que participan investigadores, comunicadores, tomadores decisiones y otros perfiles profesionales diversos, abordando problemáticas que ya son en sí mismas complejas y que involucran a una gran variedad de públicos. Externamente, perfiles profesionales como el de aquellos dedicados al periodismo de ciencia fungen como mediadores de la disseminación de conocimientos entre las comunidades científicas y otros actores sociales (Geschke y cols., 2023). Además, a través de eventos de divulgación y actividades de ciencia ciudadana, los investigadores no solo reciben retroalimentación por parte de otros sectores, sino que también se posibilita que la ciudadanía participe en la creación de conocimiento científico (Giardullo, 2023). Dado que la capacidad de

respuesta de una institución depende de la forma en la que interpreta los eventos que tienen lugar en su medio externo, la continua recopilación de información y subsecuente construcción de conocimiento son atributos fundamentales de toda organización, en especial aquellas dedicadas a la investigación.

Choo (2002) describe al proceso de creación de conocimiento como resultado de la interacción sinérgica entre conocimiento tácito y conocimiento explícito dentro de una organización. El conocimiento tácito se refiere al conocimiento personal que cada individuo desarrolla como consecuencia de estar inmerso en una actividad por un extenso periodo de tiempo, mientras que el conocimiento explícito es el conocimiento formal que es articulado en forma de reglas, normas y protocolos, así como fórmulas y modelos matemáticos o computacionales. Sí bien en las áreas de la comunicación de la ciencia como en la conservación de la biodiversidad es común hacer uso del conocimiento tácito de los practicantes para llevar a cabo actividades de comunicación, depender solamente de este tipo de conocimiento puede generar conflictos, sesgos e inadecuada toma de decisiones, ya que el conocimiento tácito es subjetivo y difícil de transmitir, al depender de las experiencias personales de los practicantes (Kadykalo y cols. 2020). El conocimiento explícito puede ser más fácilmente comunicado que el conocimiento tácito, tanto dentro como fuera de la organización. Además, este tipo de conocimiento puede ser evaluado de forma objetiva y sistemática. Por lo tanto, el papel de la organización es mediar y facilitar la conversión de conocimiento tácito en conocimiento explícito. Dicho objetivo puede ser logrado, por ejemplo, mediante el desarrollo de planes de comunicación, o la formulación de modelos teóricos. Estos constituyen una forma de creación de conocimiento, puesto que implican la sistematización del conocimiento tácito que los investigadores y comunicadores tienen acerca de cómo realizar prácticas de comunicación de manera efectiva, cuáles son las mejores estrategias para llevarlas a cabo, o a que audiencias es más deseable llegar. En el presente trabajo se desarrolló un modelo teórico basado en métodos computacionales sobre las dinámicas de comunicación de temas de biodiversidad, con el fin de contribuir al conocimiento de los procesos sociales que median la difusión de información desde las instituciones de investigación hacia otras comunidades y sectores sociales.

## 2. ANTECEDENTES

Dobson y cols. (2019), emplearon un modelo de simulación basado en agentes y redes sociales para examinar como el flujo de información es afectado por las estructuras sociales en una comunidad rural, con el fin de reducir las prácticas de cacería furtiva. En la simulación, información clave es comunicada a un cierto número de agentes focales, los cuales luego transmiten tal información al resto de agentes de la red. De acuerdo a sus resultados, la rapidez y efectividad con la que se disemina la información dentro de la red está fuertemente determinada por atributos a nivel individual, particularmente por la distribución de contactos sociales y la “disposición para la escucha”. Este último parámetro representa la formalización que los autores utilizaron para representar la disposición de un individuo para recibir información y transmitirla a otros. Como ellos apuntan, variaciones de este atributo entre los individuos pueden tener un potencial impacto sobre esfuerzos de conservación.

De Lange y cols. (2021) analizaron los efectos conductuales de una campaña de comunicación dirigida a crear consciencia sobre los riesgos ambientales del uso de pesticidas. Mediante el uso de cuestionarios, los investigadores pudieron identificar significativos cambios tanto de conocimientos como de carácter psicológico. Específicamente, los investigadores se enfocaron en medir la adopción de una conducta pro-ambiental en particular, la acción de reportar casos de posible envenenamiento de vida silvestre causados por pesticidas. Según sus resultados, cuanto mayor es el nivel de conocimientos sobre las consecuencias ambientales del uso de pesticidas de un individuo, mayor es la probabilidad de que decida reportar posibles casos de envenenamiento en su comunidad. En este mismo estudio se realizó también un modelado computacional de redes sociales para explicar el efecto de los contactos sociales de los individuos sobre su adopción de la conducta pro-ambiental. Aquellos individuos que tenían contacto con más de un individuo con conocimientos sobre el tema, duplicaron su probabilidad de adoptar la conducta pro-ambiental. Dicho modelo fue basado en la teoría de comportamiento planeado, el cual conceptualiza a los comportamientos como el resultado de los conocimientos, intenciones y actitudes de un individuo. Según los resultados de este estudio, la adopción de conductas pro-ambientales depende no solo de los conocimientos, intenciones y actitudes del

propio individuo, sino también del número y las características de sus contactos inmediatos. Esto probablemente debido a que los individuos con conocimientos sobre un tema suelen compartir estos conocimientos con las personas con las que interactúan de manera regular. Además, estudios como el de Yi y cols. (2022) sugieren que las personas no solo transmiten información a las personas con las que interactúan, si no también emociones, ya sea que tales interacciones ocurran en entornos físicos o digitales.

Yang y cols. (2023) llevaron a cabo un estudio en el que se analizaron las conductas de participación por parte de usuarios de plataformas digitales demostró que los individuos exhiben, *grosso modo*, al menos dos tipos de comportamiento de respuesta frente a noticias, o tweets, que informaban sobre hallazgos científicos relacionados con la salud, denominados de alta y baja participación. Mediante simulaciones computacionales, estos autores aportan evidencia que soporta la idea de que la heterogeneidad en la participación de los usuarios se debe a diferencias individuales en la disposición de cada persona de considerar determinada información como cierta o relevante. Esta disposición es denominada umbral de aceptación. Individuos con un bajo umbral de aceptación presentaron de manera más consistente en el tiempo una alta participación en la plataforma digital, compartiendo de forma sostenida mensajes de contenido científico con sus contactos. En contraste, individuos con alto umbral de aceptación exhibieron una conducta más fluctuante, demostrando una alta participación solamente en respuesta a noticias virales o vistas como impactantes, manteniendo una baja participación la mayor parte del tiempo. Dicha heterogeneidad en la conducta de participación tiene un efecto directo sobre las dinámicas de flujo de información. Parte de esta variación se pueden explicar a nivel de individuo, por ejemplo, como consecuencia de diferencias en el nivel de confianza que una persona tiene frente a información nueva, o su inclinación a compartir información con otros. Por otro lado, y de acuerdo a varios autores (De Lange y cols. 2019) parte de la variación es consecuencia de la estructura social a nivel sistémico, en concreto, de la forma en la que se configuran las redes sociales en las que los individuos están embebidos. Aquellos sujetos que se encuentran en posiciones de alta conectividad reciben mayor información y son más efectivos en transmitirla, por lo que tienen un mayor impacto sobre el

flujo de información que los individuos en los márgenes de la red, que se encuentran mucho menos conectados (Aranda-Fragoso y cols. 2020).

Diferentes tipos de intervenciones de comunicación diseñadas con el propósito de fomentar cambios conductuales han probado ser útiles en áreas como la de la promoción de la salud (Carey y cols. 2019). En este tipo de intervenciones, la difusión de información sobre prevención de enfermedades es un factor determinante en la adopción de conductas profilácticas, como describen Berdardin y cols. (2021), quienes desarrollaron un modelo computacional basado en agentes para estudiar los efectos de una campaña de comunicación sobre medidas no farmacéuticas de mitigación de una epidemia. Dicho modelo estuvo basado en una variación del clásico modelo epidemiológico SIR (Susceptible-Infectado-Recuperado). En este modelo, los agentes pueden acceder a información relevante a través de sus interacciones sociales con contactos inmediatos, o través de una entidad central que transmite información de manera periódica. Según los resultados reportados por dichos autores, el nivel de acceso a información sobre los riesgos de infección durante una pandemia está directamente relacionado con la adopción de conductas preventivas. Además, de acuerdo a este modelo, la existencia de entidades centrales de información, como pueden ser instituciones de investigación, permite mantener un continuo flujo de información global dentro de las redes de comunicación. Al mismo tiempo, las interacciones sociales a nivel local juegan un papel modulador del flujo de información que es más prevalente en los casos cuando la comunicación central es relativamente escasa.

Una notable característica de este modelo, es que vincula procesos epidemiológicos y patrones de comunicación a escala macroscópica con interacciones sociales de comunicación a escala microscópica, demostrando una clara relación entre la información a la que cada individuo tiene acceso, y la adopción de determinadas conductas. Gracias a esto, los autores pudieron evaluar el efecto de diferentes estrategias de comunicación sobre la mitigación de los contagios durante un brote epidémico. Sin embargo, una limitación de dicho modelo es que fue compuesto por agentes de características psicológicas homogéneas, solo variando con respecto a la distancia espacial de unos con respecto otros, y a la calidad de información que reciben.

Como demuestra el estudio llevado a cabo por Massaro y cols. 2021, en el que se evaluó el flujo de información sobre la importancia del distanciamiento social en la plataforma digital Twitter durante la pandemia de COVID-2019, no todos los integrantes de una red social participan de la misma manera en la difusión de mensajes científicos. Según este estudio, algunos actores sociales tuvieron una mayor influencia sobre las dinámicas de comunicación en etapas tempranas de la pandemia, como figuras públicas y políticos, mientras que otros actores tuvieron mayor relevancia en estadios tardíos de la pandemia, como fue el caso de las instituciones científicas. Estos resultados resaltan el papel que la diversidad de actores sociales juega en la estructuración de las redes sociales a través de las cuales se difunde información científica.

Como argumentan Nielsen y cols. (2021), la degradación de la biodiversidad no es el resultado de una sola actividad o de un solo actor, sino que es consecuencia de múltiples comportamientos por parte de muchos actores que operan en diferentes escalas temporales y espaciales, y que cuentan con características psicológicas diferentes en cuanto a la forma en la que responden a información científica. Por tanto, en el presente trabajo se propuso implementar un modelo computacional de difusión de información en redes sociales, que simule las dinámicas de comunicación de temas relacionados con la conservación de la biodiversidad en plataformas digitales y su efecto sobre la promoción de la participación ciudadana. Así mismo, para conocer el impacto de la heterogeneidad de las audiencias sobre los procesos sociales de difusión de información, el modelo se construyó con agentes que varían tanto en sus actitudes hacia información científica, como en su respuesta emocional hacia la misma.

### 3. JUSTIFICACIÓN

La conservación de la biodiversidad depende en gran medida de la participación de las comunidades locales en acción en favor del ambiente. La comunicación de la ciencia juega un papel fundamental en los esfuerzos de conservación al facilitar la difusión de conocimientos científicos entre audiencias diversas, lo cual es esencial para involucrar a diferentes actores sociales y fomentar conductas pro-ambientales en la población local. En este sentido,

comprender las dinámicas de comunicación que median esta difusión permite no solo mejorar la recepción y comprensión de información relevante sobre temas de biodiversidad, sino también incentivar una participación pública activa, capaz de incidir en decisiones locales y políticas ambientales, al mismo tiempo que se optimiza la inversión de recursos en el desarrollo e implementación de planes de comunicación.

En este proyecto se presenta un modelo teórico de dinámicas de comunicación de la ciencia que proveerá de información acerca de cómo se estructuran las audiencias que participan en la difusión de información sobre temas de conservación de la biodiversidad en plataformas digitales. Este modelo contribuirá al conocimiento de las dinámicas sociales a partir de las cuales emergen los procesos de comunicación y como diferentes estrategias comunicativas pueden incidir sobre estas dinámicas. De esta forma, será posible emplear el modelo de simulación como un elemento formal e integral en el proceso de planeación e implementación de programas de comunicación de la ciencia relacionados con la conservación de la biodiversidad.

Además, este modelo puede servir como base para el desarrollo de métodos de evaluación que busquen optimizar el uso de recursos y la efectividad de la comunicación de la ciencia cuando la meta sea fomentar conductas o actitudes pro-ambientales, tomando en cuenta las características de las audiencias objetivo y el contexto socio-cultural.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 Objetivo general

Desarrollar un modelo teórico que describa las dinámicas de flujo de información en una red social e integre los principales componentes de la comunicación de la ciencia en el contexto de la conservación de la biodiversidad.

## 4.2 Objetivos específicos

- Realizar una revisión bibliográfica de la literatura especializada en comunicación de la ciencia e identificar los componentes comunicativos y socio-culturales más relevantes en intervenciones dirigidas a fomentar acciones de conservación de la biodiversidad.
- Formular un modelo matemático que integre los diferentes componentes comunicativos y socioculturales.
- Construir y analizar un modelo computacional que describa las dinámicas sociales que median la difusión de información en una red social sintética.

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1 Modelado cualitativo

De acuerdo a lo propuesto por Fischhoff (2018) se comenzó por construir un modelo cualitativo a partir de una revisión bibliográfica exhaustiva, cuyo propósito fue reunir y analizar literatura relevante en torno a los temas de comunicación científica, participación pública y conservación de la biodiversidad. Este proceso incluyó la búsqueda de artículos indexados a través del motor de búsqueda Google Scholar, empleando las palabras clave en inglés “*science communication*”, “*biodiversity conservation*”, “*resilience*”, “*social systems*”, “*knowledge gain*”, “*information flow*” y “*human behavior*” Los textos fueron organizados y clasificados según su enfoque en distintas dimensiones comunicativas, tales como el alcance de los mensajes, la receptividad del público, y el impacto de las acciones de conservación

A partir de esta revisión, se elaboró un diagrama de influencia que representa visualmente las relaciones y los efectos que distintos factores tienen sobre la comunicación de la ciencia y su eficacia para promover la participación pública en la conservación de la biodiversidad. Cada

factor fue representado en este diagrama mediante círculos unidos por flechas, las cuales representaron relaciones causales entre los factores. Este diagrama facilitó la identificación de los elementos clave y sus interdependencias, ofreciendo una base estructural para la construcción de los dos modelos subsecuentes.

## 5.2 Modelado cuantitativo

La segunda fase metodológica del estudio consistió en aplicar una variante del modelo epidemiológico SIR (Susceptible-Infestado-Recuperado) para simular las dinámicas de transmisión de información entre individuos. Este modelo, tradicionalmente utilizado para describir la propagación de enfermedades infecciosas, fue adaptado para representar la difusión de mensajes y actitudes sobre la conservación de la biodiversidad en una red de individuos, de forma similar al modelo descrito por Yang y cols. (2023). La variación de este modelo empleada en este trabajo fue denominada como modelo SEPS (Susceptible-Expuesto-Participando-Susceptible). Una representación gráfica de este modelo puede apreciarse en la figura 1.

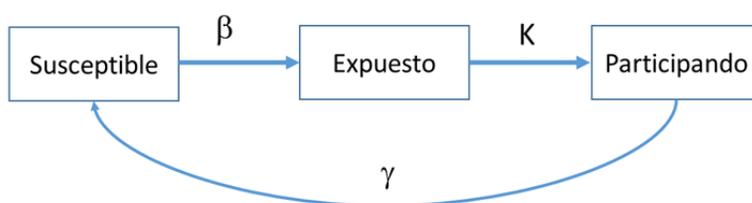


Fig. 1. Representación esquemática del modelo SEPS (Susceptible-Expuesto-Participando-Susceptible). Este modelo incluye tres parámetros:  $\beta$  representa la tasa de transmisión entre individuos.  $K$  representa la tasa de participación y  $\gamma$  representa la tasa de decaimiento.

Este modelo fue formulado para describir las dinámicas de participación de individuos en una red social, entendiendo participación como la acción de compartir información científica con los contactos inmediatos. Cada individuo dentro de la red social puede existir en uno de tres estados mutuamente excluyentes: Susceptible (S) se refiere a un individuo que no ha sido expuesto a información científica. Expuesto (E) es un individuo que ha recibido información de otro individuo, pero que no la comparte con el resto de sus contactos. Participando (P) representa a un individuo que comparte activamente la información que recibe con todos sus contactos inmediatos. Las transiciones de un estado a otro son moduladas por tres parámetros:  $\beta$  representa la tasa de transmisión, que determina la probabilidad de que un individuo susceptible sea expuesto a información científica proveniente de otro contacto.  $K$  representa la probabilidad de que un individuo expuesto decida compartir la información científica que ha recibido con el resto de sus contactos, pasando así el estado P. Finalmente, el parámetro  $\gamma$  describe la tasa de decaimiento, la cual consiste en la tendencia de un individuo en estado P de dejar de compartir información, regresando al estado S. En la ecuación 1 se hace una descripción matemática del modelo, empleado un sistema de ecuaciones diferenciales.

$$\frac{dS}{dt} = -\beta * S * P / n + \gamma * P$$

$$\frac{dE}{dt} = \beta * S * P / n - K * E$$

$$\frac{dP}{dt} = K * E - \gamma * P$$

Ec.1. Sistema de ecuaciones diferenciales del modelo SEPS. La primera diferencial del modelo describe el número de individuos susceptibles. La segunda diferencial se refiere al porcentaje de individuos que son expuestos a información científica, mientras que la tercera diferencial se refiere a la evolución de individuos participando. El término  $n$  se refiere al número total de individuos.

A su vez, cada parámetro del modelo fue calculado de acuerdo a las siguientes suposiciones, basadas en la revisión bibliográfica. El parámetro  $\beta$  se asumió como el resultado de la conectividad de la red (C) multiplicada por el número de comunicación efectiva (Ce), como se observa en la ecuación 2.

$$\beta = Ce * C$$

Ec.2. Tasa de transmisión.

La conectividad de la red, en este caso, se refiere al grado de saturación de conexiones entre los miembros de la red, estableciéndose valores de entre 0 y 1. Un valor de 0 indica que los individuos están completamente desconectados unos de otros. Un valor de 1 indica que todos los individuos están completamente conectados unos con otros. El número de comunicación efectiva se refiere a la calidad de la información científica. Para los propósitos de este trabajo, se asignó a este número un valor constante de 1, ya que el interés de este modelo es entender las dinámicas de transmisión de información, de forma independiente de la calidad de la misma. Por otro lado, el parámetro K se calculó de acuerdo a la ecuación 3.

$$K = Ad * E$$

Ec.3. Tasa de participación.

La tasa de participación se asumió como el resultado de la distribución de actitudes (Ad) entre los individuos de la red, multiplicada por la respuesta emocional de cada individuo a la información (E). De acuerdo a esta formulación, el valor Ad se refiere explícitamente al número de individuos que exhiben una actitud positiva hacia la información científica. Finalmente, la tasa de decaimiento  $\gamma$  se formuló como el resultado de la constante de decaimiento  $\mu$  multiplicada por el porcentaje de actitudes negativas entre los miembros de la red (1-E), de acuerdo a la ecuación 4.

$$\gamma = \mu * (1-E)$$

Ec.4. Tasa de decaimiento.

La constante de decaimiento  $\mu$  depende del grado de impacto de la información científica. Según Yang y cols. (2023), información con un alto impacto suele ser compartida con más frecuencia, por lo que su valor  $\mu$  es bajo. De manera similar al número de comunicación efectiva,  $\mu$  se consideró como un valor fijo, ya que el interés de este trabajo es evaluar los patrones de comunicación independientemente del grado de impacto de la información.

Finalmente, el modelo matemático fue implementado en un modelo computacional de simulación basado en agentes. En este modelo, cada individuo o agente fue programado con la capacidad de transmitir información a sus contactos inmediatos, así como de exhibir una actitud y una respuesta emocional frente a la información que reciben. Además, cada agente fue provisto con la capacidad de cambiar de actitud en función de las actitudes de sus contactos, esto con el fin de reflejar patrones homofílicos de formación de actitudes. Los agentes fueron conectados entre sí mediante una red aleatoria construida de acuerdo al modelo Erdos-Renyi. Este es un tipo de modelo de red aleatoria. La probabilidad de que un agente dado de la red esté conectado con otro se fijó con un valor de 0.5. En la figura 3 se aprecia una representación gráfica de este modelo. Todas las simulaciones computacionales fueron realizadas en el lenguaje de programación Python, versión 3.10.0. Cada una de estas simulaciones se corrió por un número de pasos de tiempo equivalente a 100 días. En cada uno de estos días, cada agente con estado “participando” compartía información con todos sus contactos sociales inmediatos.

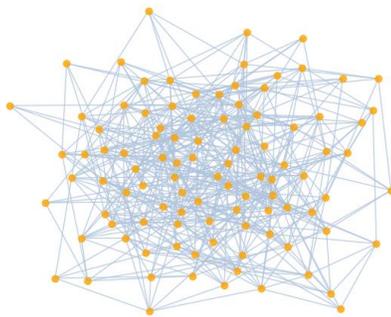


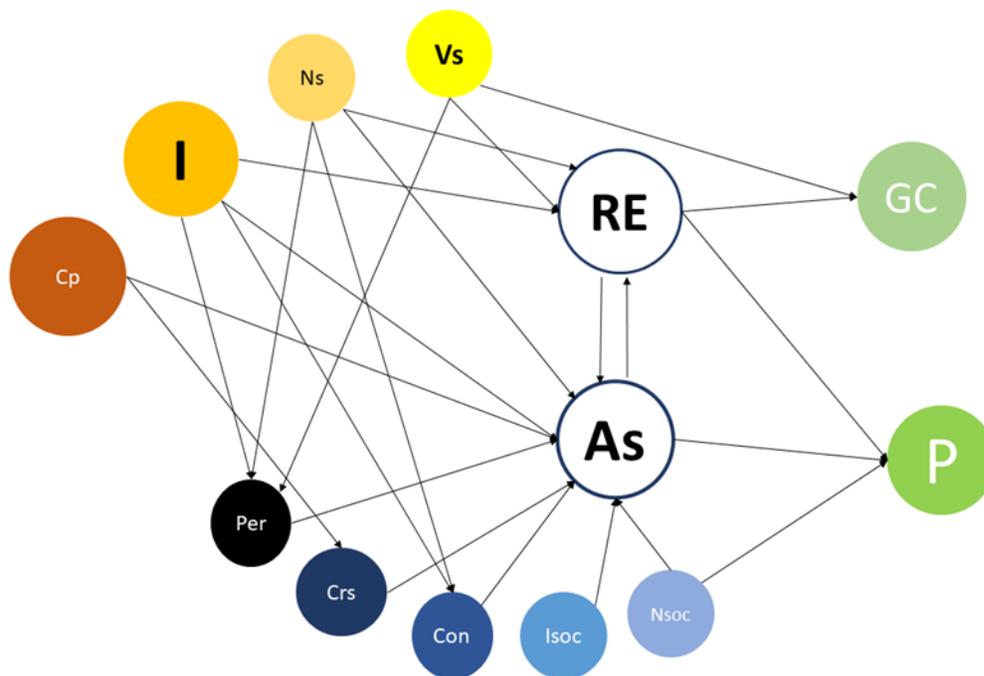
Fig. 2. Red aleatoria construida de acuerdo al modelo Erdos-Renyi, con una probabilidad de conexión de 0.1. En la imagen, los puntos de color naranja representan los nodos o agentes que conforman la red, mientras que las líneas azules representan los enlaces o conexiones entre ellos.

## 6. RESULTADOS

En la figura 3 se observan las relaciones causales entre los diferentes componentes comunicativos y socio-culturales identificados en la comunicación de la ciencia en el contexto de la conservación de la biodiversidad, representados en la forma de un diagrama de influencia. La ganancia de conocimientos (GC) y la Participación pública (P) fueron los dos objetivos que más comúnmente son perseguidos en programas de comunicación sobre biodiversidad.

Los componentes comunicativos mayormente mencionados en la literatura especializada fueron la información (I), las narrativas (Ns) y las Visualizaciones (Vs). Los componentes socio-culturales mayormente estudiados como parte de programas de comunicación sobre temas de conservación de la biodiversidad fueron la percepción (Per), las creencias (Crs), la Confianza (Con), la Identidad Social (Isoc) y las normas sociales (Nsoc). Además, los conocimientos previos (Cp) son un factor que ha sido vinculado con la formación de creencias y actitudes.

Tanto la respuesta emocional de los individuos (RE) frente a información nueva, como sus actitudes (As) hacia la ciencia y la conservación de la biodiversidad fueron identificados como componentes mediadores tanto de la ganancia de conocimientos como de la participación. De acuerdo a este análisis, los componentes psico-sociales de las audiencias interactúan con los componentes comunicativos, teniendo un efecto indirecto sobre la ganancia de conocimientos y la participación, mediada por la RE y las As. De esta forma, estos componentes mediadores pueden amplificar o mitigar el efecto de los demás componentes. Además, la RE y las As interactúan de manera recíproca entre ellas.



|                           |                               |                        |                         |
|---------------------------|-------------------------------|------------------------|-------------------------|
| Cp: Conocimientos previos | Vs: Visualizaciones           | Crs: Creencias         | RE: Respuesta emocional |
| I: Información            | GC: Ganancia de conocimientos | Con: Confianza         | As: Actitudes           |
| Ns: Narrativas            | Per: Percepción               | Isoc: Identidad social | P: Participación        |
|                           |                               | Nsoc: Normas sociales  |                         |

Fig. 3. Diagrama de Influencia. Las flechas que conectan los diferentes componentes representan relaciones causales unidireccionales entre ellos.

Los componentes considerados de mayor relevancia fueron integrados en el modelo SEPS, de acuerdo a la descripción detallada en la sección de metodología. En la figura 3 se aprecian los resultados de dos series de simulaciones empleando dos valores distintos de respuesta emocional. Un valor de respuesta emocional de 0.5 generó un notable aumento en el número de individuos participando con respecto a un valor de 0.1.

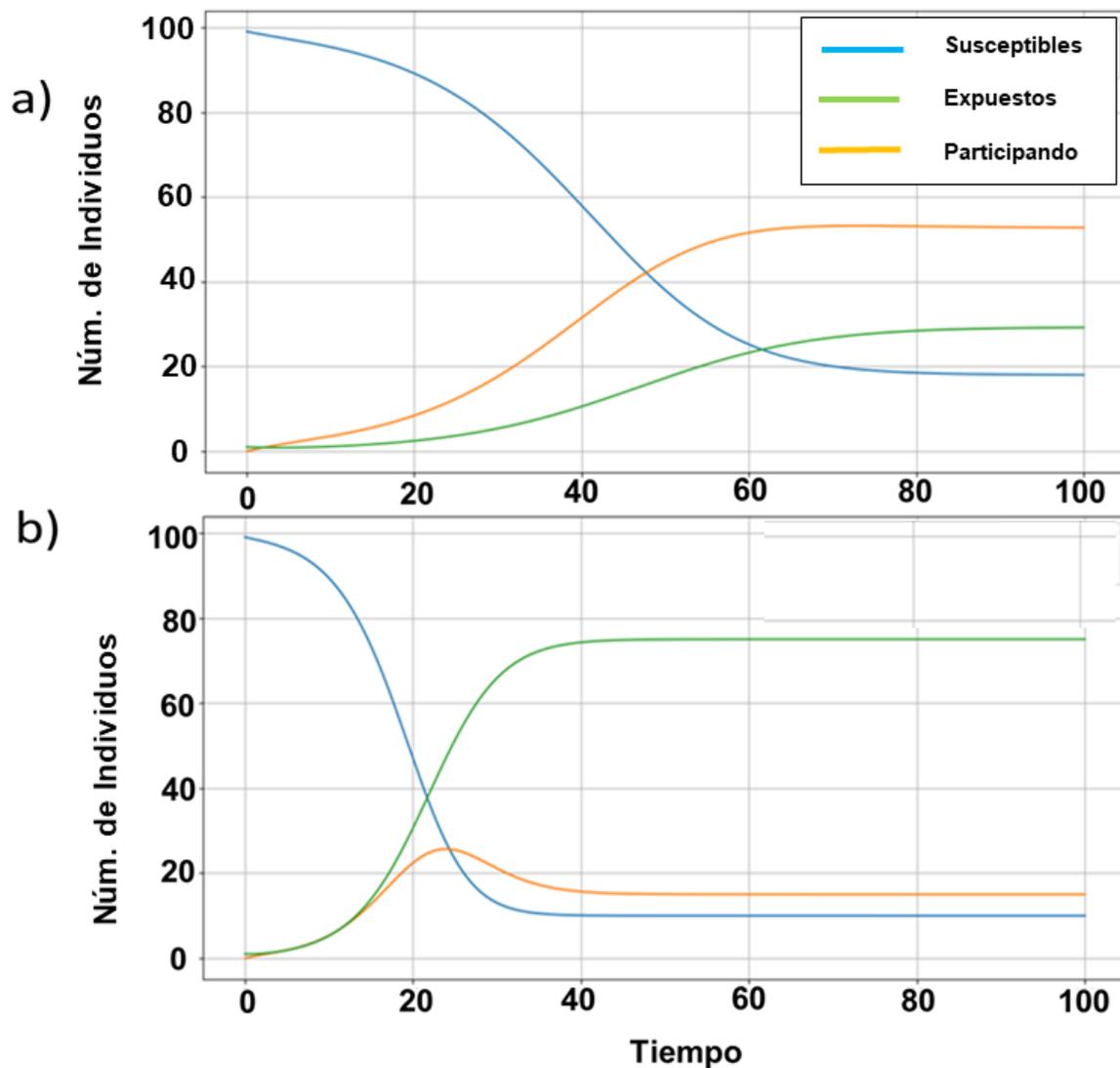


Fig. 4. Simulación del modelo SEPS para una población de 100 individuos durante 100 días. a) respuesta emocional de 0.1. b) respuesta emocional de 0.5.

En la figura 4 se pueden observar los resultados de 100 simulaciones del modelo basado en agentes. En la gráfica se aprecia una rápida evolución de las dinámicas de participación que alcanzan una región de relativa estabilidad en alrededor de diez días. Dentro de esta región, el número de participantes por día oscila entre 30 y 60 agentes, con un promedio de alrededor de 35 y una amplia variabilidad.

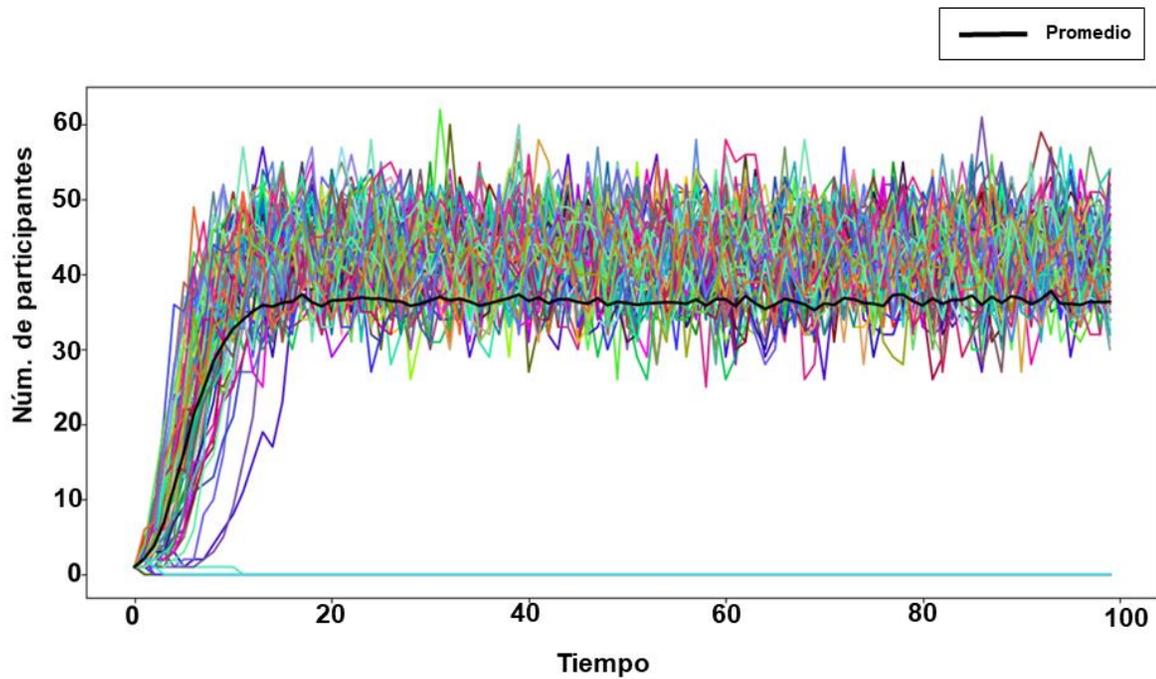


Fig. 4. Evolución del número de participantes en 100 simulaciones del modelo basado en agentes. Cada color representa una simulación corrida con 100 agentes por un intervalo de tiempo equivalente a 100 días. La línea obscura representa la evolución promedio de todas las simulaciones.

En la figura 5 se muestra la relación entre la respuesta emocional y el número de cambios de estado de participación de los agentes durante una simulación completa. Como se puede apreciar, un aumento en la respuesta emocional genera un cambio directamente proporcional en el número de agentes que cambian su estado de no participativo a participativo.

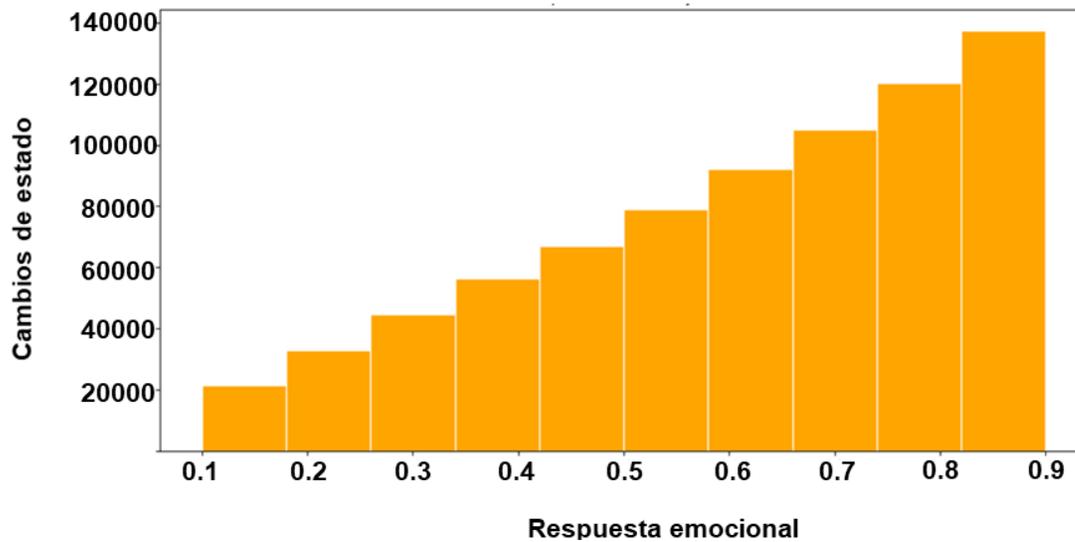


Fig. 5. Relación entre la respuesta emocional y el cambio de estado en el modelo basado en agentes.

## 7. DISCUSIÓN

La premisa central de esta investigación es que, a fin de realizar adecuadas prácticas de comunicación de la ciencia, es necesario comprender las dinámicas sociales que acompañan los procesos comunicativos. Los diferentes componentes de la comunicación científica no pueden considerarse de forma aislada, sino que deben entenderse dentro de un sistema complejo de interacciones que incluye elementos verbales, contextuales y sociales. Esta perspectiva sistémica reconoce la interdependencia entre estos componentes y su capacidad para influir conjuntamente sobre la percepción y comprensión pública de la información científica en diferentes escalas. Este entretendido de interacciones es de particular importancia cuando se abordan problemas que requieren acción colectiva de la ciudadanía para su resolución, como lo es la conservación de la biodiversidad.

Como enfatizan Aranda-Fragoso y cols. (2020), muchas comunidades que están directamente involucradas con el manejo de recursos naturales relacionadas con la biodiversidad carecen de adecuadas fuentes de información basada en evidencia, al no existir suficientes vínculos con las

comunidades científicas. Este efecto es probablemente agravado cuando las plataformas digitales son el principal medio empleado para la comunicación de información científica, como consecuencia de la manera en la que las redes sociales en entornos digitales emergen y evolucionan. Los resultados de este trabajo apoyan la idea de que las dinámicas de comunicación de temas relacionados con la biodiversidad en plataformas digitales propician la formación de redes sociales modulares, en las que solo una proporción limitada de los miembros de la red comparten información entre ellos, dejando al resto aislados. Dicho efecto puede explicarse como consecuencia de interacciones homofílicas en el sistema social. Como señalan Mcpherson y cols. (2001) este tipo de interacciones puede limitar la capacidad de los individuos de recibir información nueva, lo cual también restringe su potencial de adoptar nuevas conductas o normas sociales. El modelo teórico desarrollado sugiere que las audiencias que participan en la difusión de información científica sobre temas de biodiversidad tienden a ser homofílicas con respecto a sus actitudes hacia la ciencia, generando comunidades con conductas homogéneas que interactúan escasamente con individuos que exhiben actitudes discordantes. Esta tendencia de los usuarios de formar grupos homogéneos restringe de forma importante la incorporación de nuevos miembros y el crecimiento de las audiencias, además de que favorece la emergencia de polarización entre los miembros de la red. Por consiguiente, se puede concluir que este tipo de dinámicas sociales elevadamente homofílicas representan un obstáculo para permitir que la información científica permee hacia todos los individuos que la requieren, ya que esta tiende a ser compartida mayormente dentro de grupos sociales relacionados con la esfera académica.

En este trabajo se propone que la promoción de dinámicas sociales que faciliten el flujo de información entre diferentes actores sociales relevantes para la conservación de la biodiversidad representa un prometedor medio para fortalecer la participación colectiva en acciones de conservación y mejorar la toma de decisiones basada en conocimiento científico. No obstante, como demuestra el modelo reportado por Zarei y cols. (2024) las redes sociales en plataformas digitales exhiben una tendencia inherente hacia la polarización, ya que los usuarios suelen compartir información guiados mayormente por sus criterios personales, lo que favorece la formación de comunidades homofílicas. Esto es de especial relevancia ya que, como explican (Cotê y Darling 2018), la diseminación de información científica a través de plataformas

digitales es ampliamente usada por investigadores y comunicadores de la ciencia. De acuerdo a los resultados de este trabajo, las dinámicas de comunicación de temas relacionados con la conservación de la biodiversidad son similares a lo presentado por Yang y cols. (2023). De acuerdo a estos autores, las audiencias que comparten consistentemente información científica en plataformas digitales tienden a ser altamente estables, lo cual es explicado en parte por el grado de impacto de la información que es compartida. El modelo desarrollado en este trabajo generó patrones de disseminación de información semejantes, pero explicados a partir de las características psico-sociales de los individuos. Independientemente del grado de impacto de la información científica, o de la veracidad de la misma, los individuos dentro de una red social tienden a aceptar información más fácilmente cuando es proveniente de otro individuo que comparte las mismas actitudes. A su vez, la alta variabilidad en las dinámicas de comunicación es el resultado de variación a nivel individual tanto en la respuesta emocional como en el umbral de aceptación de nueva información.

En contraste, las redes sociales que emergen a partir de interacciones sociales que tienen lugar *offline*, en entornos físicos donde los individuos se comunican de manera directa y personal, tienden a ser más diversas, como lo reportan Yletyinen y cols. (2021). Por tanto, combinar estrategias de comunicación en plataformas digitales con intervenciones de comunicación en persona, donde las personas participen directamente en actividades de divulgación, puede fomentar el crecimiento de audiencias más diversas. Así mismo, al promover un flujo plural de información, se fomenta la creación de redes colaborativas en las que actores como comunidades locales, organizaciones no gubernamentales, instituciones académicas y tomadores de decisiones pueden interactuar y coordinar esfuerzos de manera más eficiente (Schill y cols. 2016). Estas dinámicas no solo amplían el alcance de los mensajes científicos, sino que también permiten que el conocimiento sea reinterpretado y adaptado a contextos específicos, aumentando su relevancia y efectividad.

En este sentido, este trabajo busca resaltar cómo el diseño de estrategias comunicativas basadas en una comprensión sistémica de los procesos sociales puede potenciar la eficiencia de las prácticas de comunicación de la ciencia dirigidas a la conservación de la biodiversidad, esto mediante el estudio de los factores que impactan las dinámicas de comunicación y el flujo de

información entre diferentes individuos y actores sociales. Para tal propósito, es necesario partir de modelos formales adecuadamente formulados, que puedan servir de base tanto para la planeación de programas de comunicación, como para la evaluación de sus resultados. En este sentido, un resultado importante reportado en el presente escrito es el impacto de la respuesta emocional en el cambio de actitudes y la participación de usuarios de redes sociales, por lo que estrategias que incorporen la dimensión emocional podrían ser efectivas en promover la participación de las audiencias, incluso cuando no se cuente *a priori* con actitudes positivas hacia la ciencia.

Un resultado particularmente importante de este trabajo es el papel que juega la respuesta emocional de los individuos en las dinámicas de comunicación. Los distintos elementos comunicativos, como imágenes y textos, pueden servir para elicitación de una respuesta emocional particular en las audiencias y aumentar la probabilidad de atraer nuevos miembros. De acuerdo al modelo basado en agentes, la probabilidad de que un individuo adopte un estado participativo incrementa proporcionalmente en relación con la respuesta emocional elicitada por la información científica. Los resultados sugieren que la respuesta emocional juega un papel modulador sobre las dinámicas sociales de difusión de información y el cambio de actitudes. Esto es congruente con el modelo de comportamiento de búsqueda de información desarrollado por Kuhlthau (1985, 1988) en el que se señala que la etapa de procesamiento de información a nivel emocional precede a la etapa de procesamiento cognitivo y construcción de conocimiento, y que ésta a su vez precede a la expresión de comportamientos. En particular, dicho modelo establece que la respuesta emocional inmediata que acompaña a la exposición a información nueva es incertidumbre, cuyo nivel será directamente proporcional al grado de incongruencia entre la información nueva y los esquemas cognitivos y actitudes previas del individuo.

Como de Lange y cols. (2022) enfatizan, una falta de consideración de las posibles respuestas emocionales de las audiencias hacia mensajes sobre conservación de la biodiversidad puede llevar a que los individuos desarrollen fatiga cognitiva y apatía hacia la información científica, y en consecuencia se falle en fomentar el grado de involucramiento de la ciudadanía necesario para alcanzar las metas de transformación social requeridas para la efectiva sustentabilidad de los socio-ecosistemas. Según el modelo de Kuhlthau, podemos interpretar esta apatía como

resultado de un excesivo nivel de incertidumbre experimentado por los sujetos en la etapa previa a la exposición a información nueva, lo que dificulta la transición a la fase posterior de procesamiento cognitivo, que es donde ocurre la asimilación de información que a su vez posibilita la emergencia de nuevos comportamientos. Integrar técnicas de comunicación emocional como parte de planes de conservación que involucren a la ciudadanía puede facilitar la participación y el flujo de comunicación. Probert y cols. (2022) argumentan que el manejo de la información desde un punto de vista lingüístico constituye una importante fuente de incertidumbre. Al comunicar los resultados de una investigación científica, el empleo de terminología excesivamente técnica o especializada puede llevar a malinterpretaciones por parte de públicos con diferentes niveles de familiaridad con el lenguaje científico. Kadykalo y cols. (2020) sugieren que la preparación de materiales divulgativos diseñados para el público general representa una forma de facilitar la asimilación de información técnica. No obstante, también remarcan que, a fin de reducir la incertidumbre, los comunicadores deben involucrarse personalmente con los públicos objetivo, de tal forma que puedan mediar efectivamente la adecuada interpretación de la evidencia. Además, Stevenson y cols. (2015), recomiendan que la comunicación científica debe apelar tanto al razonamiento cognitivo o lógico, como a la heurística afectiva o emocional, ya que ambos modos de procesamiento de información influyen en la percepción de riesgo y confianza hacia información nueva. Existen varios recursos que permiten evocar una respuesta emocional determinada en el público. Además del uso de visualizaciones y narrativas, varios autores han propuesto que la incorporación de disciplinas artísticas como elementos integrales de las estrategias de comunicación representan una alternativa prometedora, en especial cuando se busca conectar con públicos no especializados (Bennett y cols. 2016, Cuevas y cols. 2022, Chappell y Muglia 2023, Li y cols. 2023).

## 8. CONCLUSIÓN

Para llevar a cabo prácticas efectivas de comunicación de la ciencia dirigida a la conservación de la biodiversidad es necesario involucrar a una amplia variedad de actores sociales, especialmente aquellos cuyas decisiones y acciones tienen un impacto directo sobre la integridad y resiliencia de los ecosistemas. Para esto, es necesario emplear diferentes tipos de estrategias de comunicación que busquen no solo transmitir información, sino evocar emociones positivas en las audiencias e incentivar la participación ciudadana.

El funcionamiento de los sistemas naturales está estrechamente vinculado con sistemas sociales, por lo que los programas de conservación de la biodiversidad requieren integrar las dimensiones sociales de estos socio-ecosistemas bajo una perspectiva integral. En este trabajo se enfatiza a la comunicación de la ciencia como una herramienta estratégica para facilitar la vinculación entre los componentes naturales y sociales de la conservación, de tal forma que se fomente la diseminación del conocimiento científico entre públicos diversos, promoviendo una comprensión compartida de las problemáticas ambientales y generando acciones colaborativas para enfrentarlas. En este sentido, es preciso estudiar los procesos sociales que modulan las dinámicas de difusión de información científica en diferentes entornos sociales, y su impacto sobre la conservación de la biodiversidad.

En el modelo teórico desarrollado en este trabajo se proponen a las actitudes y la respuesta emocional de los individuos como elementos mediadores de la participación de la ciudadanía en la difusión de información científica en redes sociales. La implementación computacional de dicho modelo permitió vincular los atributos a nivel individual de las audiencias con dinámicas globales de comunicación, específicamente el flujo de información. Los resultados de este trabajo sugieren que la difusión de información científica en plataformas digitales tiende a ser marcadamente limitada por el efecto “cámara de eco”, por lo que la información solo se comparte entre individuos con características psico-sociales similares, lo cual a su vez puede estancar el crecimiento de las audiencias, restringiendo la difusión de la información hacia otros públicos.

El uso de estrategias de comunicación que enfatizan la comunicación emocional y la socialización de la información científica tienen el potencial de fomentar un diálogo multipartito entre los diferentes actores sociales y de reclutar nuevas audiencias. Técnicas de este tipo incluyen el uso de disciplinas artísticas como las artes visuales, el teatro o el cine. Estas técnicas requieren una interacción directa y personal con las audiencias locales, además de una considerable inversión de recursos en la producción de materiales comunicativos. A fin de asegurar el mejor aprovechamiento del tiempo y esfuerzo de los comunicadores, científicos y públicos involucrados, es necesario llevar a cabo una cuidadosa planeación de las estrategias a utilizar, así como una continua evaluación de los resultados. Típicamente, este tipo de evaluaciones se basan en diferentes medidas de la biodiversidad como una forma de cuantificar el impacto de las acciones de conservación, dejando muchas veces de lado las dimensiones sociales de las cuales dependen la integridad y resiliencia de los socio-ecosistemas. El modelo aquí presentado contribuye al conocimiento de las dinámicas sociales de participación en la difusión de información científica en plataformas digitales, esto mediante la formalización matemática de algunos de los componentes psico-sociales más relevantes para la comunicación de la ciencia desde una perspectiva sistémica. A través del uso y análisis de este modelo, es posible plantear hipótesis de cómo determinadas estrategias de comunicación pueden incidir sobre la participación de las audiencias. Así mismo, la cuantificación de las variables psico-sociales puede aportar evidencia objetiva acerca de la efectividad de las acciones de conservación.

## 9. PERSPECTIVAS

Futuros estudios pueden poner a prueba las predicciones de este modelo comparando las dinámicas de comunicación de temas de biodiversidad en plataformas digitales con aquellas que tienen lugar en entornos físicos, mediadas por interacciones en persona. En particular, estudiar la forma en la que se estructuran las redes de comunicación en áreas prioritarias de conservación. Típicamente estas áreas son identificadas mediante análisis de diversidad, pero no se suele tomar en cuenta las dinámicas sociales que caracterizan las comunidades humanas que habitan tales

zonas. Estudiar los flujos de información en estos entornos puede ofrecer conocimiento valioso sobre la forma en la que se articulan las redes de comunicación entre poblaciones locales e instituciones de investigación y otros actores sociales.

Además, a través de este tipo de estudios es posible identificar a los actores sociales con mayor influencia en las dinámicas de comunicación a nivel local. De esta forma, se podrían diseñar estrategias de comunicación dirigidas a dichos actores, lo que contribuiría a un manejo más eficiente de los recursos destinados a acciones de conservación, al mismo tiempo que se fomentaría la construcción de redes de colaboración entre los diferentes actores sociales involucrados.

## 10. REFERENCIAS

Abu-Orf H. 2005. Collaborative planning in practice: The Nicosia master plan. *Planning Practice and Research* 20(1):41-58.

Alexander SM, Epstein G, Bodin Ö y Armitage D. 2018. Participation in planning and social networks increase social monitoring in community-based conservation. *Conservation Letters* 11(5):1-9.

Amelia LTD y Balqis NR. 2023. Changes in communication patterns in the digital age. *ARRUS Journal of Social Sciences and Humanities* 3(4):544-556.

Amoah A y Addoah T. 2021. Does environmental knowledge drive pro-environmental behavior in developing countries? Evidence from households in Ghana. *Environment Development and Sustainability* 23(2):2719-2738.

Anderies JM y Folke C. 2024. Connecting human behaviour, meaning and nature. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 379(1903):1-8.

Aranda-Fragoso A, Castillo A, Cárdenas-Tapia, Moreno-Casasola P y Marín A. 2020. Scientific research and information flow in the small-scale fisheries of the central Mexican Pacific coast. *Ocean and Coastal Management* 198:1-13.

Arcia A, Bales ME, Brown WIII, Co MC Jr, Gilmore M, Lee YJ, Park CS, Prey J, Velez M, Woollen J, Yoon S, Kukafka R, Merrill JA y Bakken S. 2013. Methods for the development of data visualizations for community members with varying levels of health literacy. *AMIA Annual Symposium proceedings* 16:51-60.

Arneson J y Offerdahl E. 2018. Visual Literacy in Bloom: Using Bloom's taxonomy to support visual learning skills. *CBE—Life Sciences Education* 17(1):1-8.

Arroyo-Quiroz I, García-Barrios R, Argueta-Villamar A, Smith RJ y Pérez Gil Salcido R. 2017. Local perspectives on conflicts with wildlife and their management in the Sierra Gorda Biosphere Reserve, Mexico. *Journal of Ethnobiology* 37(4):719-742.

Balundé A, Perlaviciute G y Steg L. 2019. The relationship between people's environmental consideration and pro-environmental behavior in Lithuania. *Frontiers in Psychology* 10:1-10.

Balmford A, Bradbury RB, Bauer JM, Broad S, Burgess G, Burgman M, Byerly H, Clayton S, Espelosin D, Ferraro PJ, Fisher B, Garnett EE, Jones JPG, Marteau TM, Otieno M, Polasky S, Ricketts TH, Sandbrook C, Sullivan-Wiley K, Trevelyan R y Nielsen KS. 2021. Making more effective use of human behavioral science in conservation interventions. *Biological Conservation* 261:1-13.

Banitz T, Hertz T, Johansson LG, Lindkvist E, Martínez-Peña R, Radosavljevic S, Schlüter M, Wennberg K, Ylikoski P y Volker G. 2022. Visualization of causation in social-ecological systems. *Ecology and Society* 27(1):1-18.

Banitz T, Schlüter M, Lindkvist E, Radosavljevic S, Johansson LG, Ylikoski P, Martínez-Peña R y Volker G. 2022. Model-derived causal explanations are inherently constrained by hidden assumptions and context: The example of Baltic cod dynamics. *Environmental Modelling and Software* 156:1-17.

Bao L, Calice MN, Brossard D, Scheufele DA y Markowitz EM. 2024. Are productive scientist more willing to engage with the public? *Science Communications* 46(1):65-91.

Basak SM, Rostovskaya E, Birks J y Wierzbowska IA. 2023. Perceptions and attitudes to understand human-wildlife conflict in an urban landscape – A systematic review. *Ecological Indicators* 151:1-10.

Bascompte J y Jordano P. 2007. Plant-animal mutualistic networks: The architecture of biodiversity. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* 38:567-593.

Bennett NJ, Roth R, Klain SC, Christie P, Clark DA, Cullman G, Curran D, Durbin TJ, Epstein G, Greenberg A., Nelson MP, John S, Stedman R, Teel TL, Thomas R, Veríssimo D y Wyborn C. 2016. Conservation social science: Understanding and integrating human dimensions to improve conservation. *Biological Conservation* 205: 93-108.

Bergillos I. 2021. Approaches to the anthropocene from communication and media studies. *Social Sciences* 10:1-12.

Bergman JN, Buxton RT, Lin H-Y, Lenda M, Attinello K, Hajdasz AC, Rivest SA, Tran Nguyen T, Cooke SJ y Bennet JR, 2022. Evaluating the benefits and risks of social media for wildlife conservation. *Facets* 7: 360-397.

Bernardin A, Martínez AJ y Perez-Acle T. 2021. On the effectiveness of communication strategies as non-pharmaceutical interventions to tackle epidemics. *PLoS ONE* 16(10):1-24.

Besley JC, O'hara K y Dudo A. 2019. Strategic science communication as planned behavior: Understanding scientists' willingness to choose specific tactics. *PLoS ONE* 14(10):1-18.

Bickford D, Posa MRC, Qie L, Campos-Arceiz A y Kudavidanage EP. 2012. Science communication for biodiversity conservation. *Biological Conservation* 151:74-76.

Birdsong MH, Metcalf AL, Metcalf EC, Nesbitt HK y Gude JA. 2024. The influence of social identity on attitudes toward wildlife. *Conservation Biology* 38(4):1-11.

Blandford BE, Mulgrew KE, Schaffer V y Kannis-Dymand L. 2023. Understanding pro-environmental behaviors and intentions in visitors to a zoo-based seal encounter. *Visitor Studies* 26(2): 125-142.

Bruckerman T, Greving H, Schumann A, Stillfriend M, Börner K, Kimmig E, Hagen R, Brandt y Harms U. 2021. To know about science is to love it? Unraveling cause–effect relationships between knowledge and attitudes toward science in citizen science on urban wildlife ecology. *Journal of Research in Science Teaching* 58(8):1179-1202.

Bruine de Bruin W y Bostrom A. 2013. Assessing what to address in science communication. *Proceedings of the National Academy Science* 110(3):14062-14068.

Bombaci SP, Farr CM, Gallo HT, Mangan AM, Stinson LT, Kaushik M y Pejchar L. 2015. Using Twitter to communicate conservation science from a professional conference. *Conservation Biology* 30(1):216-225.

Bosone L y Bertoldo R. 2022. The greater the contact, the closer the threat: the influence of contact with nature on social perception of biodiversity loss and the effectiveness of conservation behaviors. *Sustainability* 14(24):1-15.

Brooks J, Waylen KA y Borgerhoff-mULDER M. 2013. Assessing community-based conservation projects: A systematic review and multilevel analysis of attitudinal, behavioral, ecological, and economic outcomes. *Environmental Evidence* 2(2):1-34.

Buijs A y Jacobs M., 2021. Avoiding negativity bias: Towards a positive psychology of human-wildlife relationships. *Ambio* 50: 281-288.

Burns TW, O'Connor DJ y Stocklmayer. 2003. Science Communication: a contemporary definition. *Public Understanding of Science* 12:183-202.

Büssing AG, Thielking A y Menzel S. 2019. Can a like save the planet? comparing antecedents of and correlations between environmental liking on social media, money donation, and volunteering. *Frontiers in Psychology* 10:1-15.

Cabezas H, Pawlowski CW, Mayer AL y Hoagland NT. 2005. Sustainable systems theory: ecological and other aspects. *Journal of Cleaner Production* 13:455-467.

Can-Hernández G, Villanueva-García C, Pacheco-Figueroa CJ, Pérez-Netzahual E y García-Morales R. 2019. Wildlife damage to crops adjacent to a protected area in southeastern Mexico: farmers' perceptions versus actual impact. *Human-Wildlife Interactions* 13(3): 423-438.

Carey RN, Connell LE, Johnston M, Rothman AJ, de Bruin M, Kelly M y Michie S. 2019. Behavior Change Techniques and Their Mechanisms of Action: A synthesis of links described in published intervention literature. *Annals of Behavioral Medicine* 53(8):693-707.

Carpini MXD, Cook FL y Jacobs LR. 2004. Public deliberation, discursive participation, and citizen engagement: A review of the empirical literature. *Annual Review of Political Science* 7(1):315-344.

Carral-García M, Buenrostro i, Weissenberger H, Rosales V y Pérez-Flores J. 2021. Dog predation by jaguars in a tourist town on the Mexican Caribbean. *Neotropical Biology and Conservation* 16(4): 461-474.

Casola WR, Beall JM, Nils Peterson M, Larson LR, Brent Jackson S y Stevenson KT. 2022. Political polarization of conservation issues in the era of COVID-19: An examination issues of partisan perspectives and priorities in the United States. *Journal of Nature Conservation* 67:1-9.

Cazalis V, Di Marco M, Butchart SHM, Akçakaya HR, González-Suarez M. Meyer C, Clausnitzer V, Böhm M, Zizka A, Cardoso P, Schipper AM, Bachman SP, Young BE, Hoffmann M, Benítez-López A, Lucas PM, Pettorelli N, Patoine G, Pacifici M, Jörger-Hickfang T, Brooks TM, Rondinini C, Hill SLL, Visconti P y Santini L. 2022. Bridging the research implementation gap in IUCN Red List assessments. *Trends in Ecology and Evolution* 4: 359-370.

Champine VM, Jones MS y Niemies RM. 2023. Encouraging social diffusion of pro-environmental behavior through online workshop-based interventions. *Conservation Science and Practice* 5:1-15.

Chandler M, See L, Copas K, Bonde AMZ, Claramunt López B, Danielsen F, Legind JK, Masinde S, Miller-Rushing AJ, Newman G, Rosemartin a y Turak E. 2017. Contribution of citizen science towards international biodiversity monitoring. *Biological Conservation* 213:280-294.

Chappell CR y Muglia LJ. 2023. Fostering science-art collaborations: A toolbox of resources. *PLoS Biology* 21(2):1-5

Chavez-Mendoza NE, José-Ramírez S y Ríos-Chelén A. 2023. Evidence that traffic noise increases territorial response in vermilion flycatchers. *Frontiers in Ecology and Evolution* 11:1-10.

Chen H, Hara N y McKay C. 2021. Investigated mediated engagement with science on the “science” subreddit: From the participants’ perspective. *PLoS ONE* 16(4):1-22.

Choo CW. 1996. The knowing organization: how organizations use Information to construct meaning, create knowledge and make decisions. *International Journal of Information Management* 16(5):329-340.

Choo CW. 2002. Environmental scanning as information seeking and organizational learning. *Information Research* 7: 1-27.

Choo CW. 2017. Seeking and avoiding information in a risky world. *Information research* 22(3):1-27.

Choo CW, Bergeron P, Detlor B y Heaton. 2008. Information culture and information use: An exploratory study of three organizations. *Journal of the American Society for Information Science and Technology* 59(5):1-13.

Chowdhury S, Aich U, Rokonuzzaman M, Alam S, Das P, Siddika A, Ahmed S, Labi MM, Di Marco M, Fuller RA y Callaghan CT. 2023. Increasing biodiversity knowledge through social media: A case study form tropical Bangladesh. *BioScience* 73: 453-459.

Cinelli M, De Francisci Morales G, Galeazzi A, Quattrociocchi W y Starnini M. 2021. The echo chamber effect on social media. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 118(9):1-8.

Cook MP. 2006. Visual representations in science education: The influence of prior knowledge and cognitive load theory on instructional design principles. *Science Education* 90(6): 1073-1091.

Cooke SJ, Killen SS, Metcalfe JD, McKenzie DJ, Mouillot D, Jorgensen C y Peck MA. 2014. Conservation physiology across scales: insights from the marine realm. *Conservation Physiology* 2:1-15.

Conrad CC y Hilchey, KG. 2011. A review of citizen science and community based environmental monitoring: issues and opportunities. *Environmental Monitoring and Assessment* 176:273-291.

Côte IM y Darling ES. 2018. Scientist on Twitter. Preaching to the choir or singing from the rooftops? *Facets* 3: 682-694.

Crosman KM, Jurcevic I, Van Holmes C, Hall CC y Allison EH. 2022. An equity lens on behavioral science for conservation. *Conservation Letters* 15:1-9.

Cuevas S, Liu Q(Kathy), Qian H, Joffe ME, Calvitti K, Schladt M, Skaar EP y Oliver KH. 2022. How to design an art-science program? Self-reported benefits for artists and scientists in the V14 artist-in-residence program. *PLoS ONE* 17(12):1-18.

Cumming GS, Allen CR, Ban NC, Biggs D, Cumming HC, De Vos A, Epstein G, Etienne M, Maciejewski K, Mathevet R, Moore C, Nenadovic M y Schoon M. 2015. Understanding protected area resilience: a multi-scale, social-ecological approach. *Ecological Applications* 25(2):299-319.

Cumming GS. 2016. The relevance of resilience of protected areas in the anthropocene. *Anthropocene* 13:46-56.

Cumming GS y Allen CR. 2017. Protected areas as social-ecological systems: perspectives form resilience and social-ecological system theory. *Ecological Applications* 27(6):1709-1717.

Currie TE, Mulder MB, Fogarty L, Schlüter, Folke C, Haider LJ, Caniglia G., Tavoni A, Jansen REV, Jorgensen PS y Waring TM. 2023. Integrating evolutionary theory and social-ecological

systems research to address the sustainability challenges of the anthropocene. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 379:1-14.

Dahlberg M y Sandström A. 2024. Social networks that shape conservation outcomes. *Environmental Science and Policy* 151:1-11.

DeCock-Caspell M y Vasseur L. 2021. Visualizations as a tool to increase community engagement in climate change adaptation decision-making. *Facets* 6(1):240-251.

De Jong T. 2010. Cognitive load theory, educational research, and instructional design: some food for thought. *Instructional Science* 38:105-134.

De Lange E, Milner-Gulland EJ y Keane A. 2019. Improving environmental interventions by understanding information flows. *Trends in Ecology and Evolution* 34(11):1-14.

De Lange E, Miler-Gulland EJ y Keane A. 2021. Effects of social networks on interventions to change conservation behavior. *Conservation Biology* 36(3):1-12.

De Lange E, Sharkey W, Castelló y Tickell S, Migné J, Underhill R y Milner-Gulland EJ. 2022. Communicating the biodiversity crisis: from “warnings” to positive engagement. *Tropical Conservation Science* 15:1-14.

De Vreese CH y Boomgaarden H. 2006. News, political knowledge and participation: the differential effects of news media exposure on political knowledge and participation. *Acta Politica* 41:317-341.

Díaz MF, Charry A, Sellitti S, Ruzzante M, Enciso K y Burkart S. 2020. psychological factors influencing pro-environmental behavior in developing countries: evidence from Colombian and Nicaraguan students. *Frontiers in Psychology* 11:1-15.

Dobson ADM, de Lange E, Keane A, Ibbett H, Milner-Gulland EJ. 2019. Integrating models of human behavior between the individual and population levels to inform conservation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 374:1-9.

Drummond C y Fischhoff B. 2017. Individuals with greater science literacy and education have more polarized belief on controversial science topics. *Proceedings of the National Academy of Science* 114(36):9587-9592.

Drummond C y Fischhoff B. 2019. Predictors of public attitudes toward controversial science 1979-1990. *Journal of Risk Research* 23(10):1318-1335.

Drummond C y Fischhoff B. 2020. Emotion and judgments of scientific research. *Public Understanding of Science* 29(3):319-334.

Dudo A y Besley JC. 2016. Scientists' Prioritization of Communication Objectives for Public Engagement. *PLoS ONE* 11(2):1-18.

Duxbury SC. 2024. Micro Effects on Macro Structure in Social Networks. *Social Methodology* 54(1):1-26.

Echeverry-Galvis MA, Téllez-Colmenares N, Ramírez-Uribe L, Cortes-Cano JS, Estela FA y Rico-Guevara A. 2024. Potential effects of artificial feeders on hummingbirds-plant interactions: are generalizations yet possible? *Ornitología Colombiana* 25:2-18.

Enzingmüller C y Marzavan D. 2024. Collaborative design to bridge theory and practice in science communication. *Journal of Science Communication* 23(02):1-14.

Equihua M, Espinosa-Aldama M, Gershenson C, López-Corona O, Munguía M, Pérez-Maqueo O y Ramírez-Carillo E. 2020. Ecosystem antifragility: beyond integrity and resilience. *PeerJ* 8:1-35.

Esteve-Gassent MD, Pérez de León AA, Romero-Salas D, Feria-Arroyo TP, Patino R, Castro-Arellano I, Gordillo-Pérez G, Auclair A, Goolsby J, Rodríguez-Vivas RI y Estrada-Franco JG. 2014. Pathogenic landscape of transboundary zoonotic diseases in the Mexico-US border along the Rio Grande. *Frontiers in Public Health* 2:1-23.

Evans G y Durant J. 1995. The relationship between knowledge and attitudes in the public understanding of science in Britain. *Public Understanding of Science* 4(1):57-34.

- Farr CM, Reed SE y Pejchar L. 2018. Social network analysis identifies key participants in conservation development. *Environmental Management* 61(5):732-740.
- Fischhoff B. 2013. The sciences of science communication. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110:14033-14039.
- Fischhoff B. 2018. Evaluating science communication. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116(16):7670-7675.
- Fischhoff B y Davis AL. 2014. Communicating scientific uncertainty. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111(4):13664-13671.
- Flemming D, Cress U, Kimming S, Brandt M y Kimmerle J. (2018). Emotionalization in science communication: the impact of narratives and visual representations on knowledge gain and risk perception. *Frontiers in Communication* 3:1-9.
- Fletcher R y Toncheva S. 2021. The political economy of human-wildlife conflict and coexistence. *Biological Conservation* 260:1-8.
- Flores-Morales M, Vázquez J, Bautista A, Rodríguez-Martínez L y Monroy-Vilchis O. 2018. Response of two sympatric carnivores to human disturbances of their habitat: the bobcat and the coyote. *Mammal Research* 64:53-62.
- Folke C, Biggs R, Norström AV, Reyers B y Rockström J. 2016. Social-ecological resilience and biosphere based sustainability science. *Ecology and Society* 21(3):1-16.
- Fraisl D, Hager G, Bedessem B, Gold M, Hsing PY, Danielsen F, Hitchcock CB, Hulbert JM, Piera J, Spiers H, Thiel M y Haklay M. 2022. Citizen science in environmental and ecological sciences. *Nature Reviews Methods Primers* 2(64):1-20.
- Francesconi W, Bax V, Blundo-Canto G, Willcock S, Cuadros S, Vanegas M, Quintero M y Torres-Vitolas CA: 2018. Hunters and hunting across indigenous and colonist communities at the forest-agriculture interface: an ethnozoological study from the Peruvian Amazon. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 14(54):1-11.

Franconeri SL, Padilla LM, Shah P, Zacks JM y Hullman J. 2021. The science of visual data communication: what works. *Psychological Science in the Public Interest* 22(3): 110-161.

Fulton S, López-Sagástegui C, Hudson-Weaver A, Fitzmaurice-Cahluni, Galindo C, Fernández-Rivera Melo F, Yee S, Ojeda-Villegas MB, Fuentes DA y Torres-Bahena E. 2019. Untapped potential of citizen science in Mexican small-scale fisheries. *Frontiers in Marine Science* 6:1-14.

Gamez-Onofre DA, González-Santiago O, Balderas-Renteria I, Gómez-Loredo y Ramírez-Estrada. 2024. Knowledge and attitudes toward genetically modified organisms and transgenic technology in a Mexican northeast population sample. *Ciencia y Tecnología ITESCAM Calkiním* 3(1):16-28.

Garau E, Requena-Mullor JM, Quintas-Soriano, López-Rodríguez, Otamendi-Urroz I, Oyarzabal M y Castro AJ. 2024. A methodological approach for integrating human emotions in protected areas management: Insights for SE Spain. *Landscape and Urban Planning* 244:1-10.

Geiger SM, Geiger M y Wilhelm O. 2019. Environment-specific vs. general knowledge and their role in pro-environmental behavior. *Frontiers in Psychology* 10:1-12.

Gerber P, Lord S, Manaugh K, Van Acker V y Carpentier-Postel S. 2021. Sustainability issues of micro and macro-scale changes in daily and residential mobility. *Sustainability* 13:1-6.

Gerolemou RV, Russell JC y Stanley MC. 2022. Social capital in the context of volunteer conservation initiatives. *Conservation Science and Practice* 4:1-9.

Geschke J, Rilling MC, Böhning-Gaese K, Potthast T, Arth A, Dicks LV, Habekuss F, Kleinschmit D, Lesch H, Spehn EM, Wenzel S, Fischer M y Lein AM. 2023. Science journalism and a multi-directional science-policy-society dialogue are needed to foster public awareness for biodiversity and its conservation. *PLOS Sustainability and Transformation* 2(10):1-13.

Giardullo P. 2023. Non-experts' participation in processes of scientific knowledge creation: The case of citizen science. *Sociology Compass* 17(9):1-18.

Ghoddousi A, Buchholtz EK, Dietsch AM, Williamson MA, Sharma S, Balkenhol N, Kuemmerle T y Dutta T. 2021. Anthropogenic resistance: accounting for human behavior in wildlife connectivity planning. *One Earth* 4(1):39-48.

Grignolio A, Morelli M y Tamietto M. 2022. Why is fake news so fascinating to the brain. *European Journal of Neuroscience* 56:5967-5971.

Guan M, Jennings FJ, Villanueva II y Jackson DB. 2022. Delineating antecedents and outcomes of information seeking upon exposure to an environmental video opposing single use plastics. *Environmental Communication* 16(4):563-575.

Guenther SK Y Shanahan EA. 2020. Communication risk in human-wildlife interactions: How stories and images move minds. *PLoS ONE* 15(12):1-17.

Härtel T, Randler C y Baur A. 2023. Using species knowledge to promote pro-environmental attitudes? The association among species knowledge, environmental system knowledge and attitude towards the environment in secondary school students. *Animals* 13:1-18.

Hassell JM, Bettridge JM, Ward MJ, Ogendero A, Imboma T, Mulo D, Fava F, Robinson TP, Begon M y Fèvre. 2020. Socio-ecological drivers of vertebrate biodiversity and human-animal interfaces across an urban landscape. *Global Change Biology* 27(4):781-792.

Holehouse J y Pollitt H. 2022. Nonequilibrium time-dependent solution to discrete choice with social interactions. *PLoS ONE* 17(5):1-30.

Holling CS. 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4(1):1-23.

Ibañez-Rueda N, Guillén-Royo M y Guardiola J. 2020. Pro-environmental behavior, connectedness to nature, and wellbeing dimensions among Granada students. *Sustainability* 12(21):1-16.

Iñiguez G, Tagüeña-Martínez J, Kaski KK y Barrio RA. 2012. Are opinions based on science: modelling social response to scientific facts. *PLoS ONE* 7(8):1-12.

Jensen EA, Borkiewicz KM y Naiman JP. 2022. A new frontier in science communication? What we know about how public audiences respond to cinematic scientific visualization. *Frontiers in Communication* 7:1-6.

Jensen EA, Borkiewicz K, Naiman JP, Levy S y Carpenter J. 2023. Evidence-based methods of communicating science to the public through data visualization. *Sustainability* 15:1-18.

Jiang T, Hou Y y Yang J. 2023. Literature review on the development of visualization studies (2012-2022). *Engineering Proceedings* 38(89):1-10.

Jordan R, Singer F, Vaughan J, Berkowitz A. 2009. What should every citizen know about ecology? *Frontiers in Ecology and Environment* 7:495-500.

Judd K y McKinnon M. 2021. A systematic map of inclusion, equity and diversity in science communication research: Do we practice what we preach? *Frontiers in Communication* 6:1-17.

Kadykalo AN, Buxton RT, Morrison P, Anderson CM, Bickerton H, Francis CM, Smith AC y Fahrig L. 2020. Bridging research and practice in conservation. *Conservation Biology* 35:1725-1737.

Kahan D. 2010. Fixing the communication failure. *Nature* 463:296-297.

Kappel K y Holmen SJ. 2019. Why science communication, and does it work? A taxonomy of science of science communication aims and a survey of empirical evidence. *Frontiers in Communication* 4:1-12.

Kessler SH, Schäfer MS y Johann D. 2022. Mapping mental models of science communication: How academics in Germany, Austria and Switzerland understand and practice science communication. *Public Understanding of Science* 31(6):711-731.

Kim KJ, Wee SJ, Han MK, Sohn JH y Hitchens CW. 2017. Enhancing children's appreciation and critical thinking through a visual literacy based art intervention program. *International Journal of Education through Art* 13(3):317-332.

Kimbrell E, Phillippe G y Longshore MC. 2022. Scientific institutions should support inclusive engagement: reflections on the AAAS center for public engagement approach. *Frontiers in Communication* 6:1-7.

Klein L y Arts K. 2021. Public participation in decision-making on conservation translocations: the importance and limitations of legislative framework. *Restoration Ecology* 30(1):1-11.

Koch L, Gorris P, Prell C y Pahl-Wostl C. 2023. Communication, trust and leadership in co-managing biodiversity: A network analysis to understand social drivers shaping a common narrative. *Journal of Environmental Management* 336:1-11.

Krajhanzl J. 2010. Environmental and pro-environmental behavior. *School and Health, Masarykova univerzita, MSD*. pp. 251-274.

Kuhlthau, CC. 1991. Inside the search process: information seeking from the user's perspective. *Journal of the American Society of Information Science* 42:361-371.

Kuhlthau CC. 2008. From information to meaning: confronting challenges of the twenty-first century. *Libri*, 58(2):1-8.

Kuhlthau CC, Heinström J y Ross JT. 2008. The 'information search process' revisited: Is the model still useful? *Information Research and International electronic journal* 13(4):1-16.

Lazard A y Atkinson L. 2014. putting environmental infographics center stage: The role of visual at the elaboration likelihood model's critical point of persuasion. *Science Communication* 37(1):1-28.

Lawton RN y Rudd MA. 2014. A narrative policy approach to environmental conservation. *Ambio* 43:849-857.

Lecuyer L, Calmé S, Schmook B y White RM. 2022. Conservation conflict hotspots: Mapping impacts, risk perception and tolerance for sustainable conservation management. *Frontiers in Conservation Science* 3:1-12.

Levin L y De Filippo. 2021. Evolution of the public understanding of science based on bibliometric analysis of two major journals. *Tapuya: Latin American Science, Technology and Society* 4(1):1-24.

Li N, Villanueva II, Jilk T, Van Matre BR y Brossard D. 2023. Artistic representations of data can help bridge the US political divide over climate change. *Communications Earth and Environment* 4(1):1-9.

Linder N, Giusti M, Samielsson K y Barthel. 2022. Pro-environmental habits: An underexplored research agenda in sustainability science. *Ambio* 51:546-556.

Lisboa PV, Gómez-Román C, Guntín L y Monteiro AP. 2024. Pro-environmental behavior, personality and emotional intelligence in adolescents: a systematic review. *Frontiers in Psychology* 15:1-11.

Lock I. 2023. Conserving complexity: A complex systems paradigm and framework to study public relations' contribution to grand challenges. *Public Relations Review* 49(2):1-11.

López-Goñi I y Sánchez-Angulo M. 2018. Social networks as a tool for science communication and public engagement: focus on Twitter. *FEMS Microbiology Letters* 365(2):1-4.

López-Vázquez K, Lara C, Corcuera P, Castillo-Guevara C y Cuautle M. 2024. The human touch: a meta-analysis of anthropogenic effects on plant-pollinator interaction networks. *PeerJ* 12:1-29.

Lyytimäki J. 2014. Bad nature: Newspaper representations of ecosystem disservices. *Urban Forestry & Urban Greening* 13(3):418-424.

Massaro M, Tamburro P, La Torre M, Dal Mas F, Thomas R, Cobianchi L y Barach P. 2021. Non-pharmaceutical interventions and the infodemic on Twitter: Lessons learned for Italy during the Covid-19 pandemic. *Journal of Medical Systems* 45:1-12.

Mauri L, Masin R y Tarolli P. 2020. Wildlife impact on cultivated lands: A multi-temporal spatial analysis. *Agricultural Systems* 184:1-15.

- Mayfield HJ, Brazil-Boast J, Gorrod E, Evans MC, Auld T, Rhodes JR y Maron M. 2019. Estimating species response to management using an integrated process. *Conservation Science and Practice* 2:1-14
- McEachan R, Taylor N, Harrison R, Lawton R, Gardner P y Conner M. 2016. Meta-analysis of the reasoned action approach (RRA) to understanding health behaviors. *Annals of Behavioral Medicine* 50(4):592-612.
- McLane A, Semeniuk C, McDermid G y Marceau D. 2011. The role of agent-based models in wildlife ecology and management. *Ecological Modelling* 222(8):1544-1556.
- McPherson M, Smith-Lovin L y Cook JM. 2001. Birds of Feather: Homophily in social networks. *Annual Review of Sociology* 27: 415-444.
- Medin DL y Bang M. 2014. The cultural side of science communication. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111:13621-13626.
- Mendiola-Islas V, Lara C, Corcuera P y Valverde PL. 2023. The behavior of broad-tailed hummingbirds is altered by cycles of human activity in a forested area converted into agricultural land. *PeerJ* 11:1-18.
- Meng Y, Chung D y Zhang A. 2023. The effect of social media environmental information exposure on the intention to participate in pro-environmental behavior. *PLoS ONE* 18(11):1-21.
- Meng G, Li Q, Yuan X, Zheng Y, Hu K, Dai B y Liu X. 2023. The roles of risk perception, negative emotions and perceived efficacy in the association between COVID-19 infection cues and preventive behaviors: a moderated mediation model. *BMC Public Health* 23:1-11.
- Mertens F, Fillion M, Saint-Charles J, Mongeau P, Távora R, Sousa Passos CJ y Mergler D. 2015. The role of strong-tie social networks in mediating food security of fish resources by traditional riverine community in the Brazilian Amazon. *Ecology and Society* 20(3):1-13.
- Metze T. 2020. Visualization in the environmental policy and planning: a systematic review and research agenda. *Journal of Environmental Policy and Planning* 22(5):745-760.

Mills M, Álvarez-Romero, Vance-Borland K, Cohen P, Pressey RL, Guerrero AM y Ernstson H. 2014. Linking regional planning and local action: Towards using social network analysis in systematic conservation planning. *Biological Conservation* 169:6-13.

Mønsted B y Lehmann S. 2022. Characterizing polarization in online vaccine discourse—A large-scale study. *PLoS ONE* 17(2):1-19.

Murphy KJ, Ciuti S y Kane A. 2020. An introduction to agent-based models as an accessible surrogate to field-based research and teaching. *Ecology and Evolution* 10(22):12482-12498.

Newman MEJ. 2006. Modularity and community structure in networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103(23):8577-8582.

Nielsen KS, Marteau TM, Bauer JM, Bradbury RB, Broad S, Burgess G, Burgman M, Byerly H, Clayton S, Espelosin D, Ferraro PJ, Fisher B, Garnett EE, Jones JPG, Otieno M, Polansky S, Ricketts TH, Trevelyan R, van der Linden S, Veríssimo D y Balmford. 2021. Biodiversity conservation as a promising frontier for behavioral science. *Nature Human Behavior* 5:550-556.

Norris K. 2012. Biodiversity in the context of ecosystem services: the applied need for systems approaches. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 367(1586):191-199.

Oheler F, Kimming S, Hagen R, Kimmerle J, Cress U, Hackländer K, Arnold J, Flemming D y Brandt M. 2024. The role of information presentation for wildlife knowledge, attitude, and risk perception. *Conservation Science and Practice* 6:1-14.

Oliva M, Montiel S, García A y Vidal L. 2014. Local perceptions of wildlife use in Los Petenes Biosphere Reserve, Mexico: Maya subsistence hunting in a conservation conflict context. *Tropical Conservation Science* 7(4):781-795.

Otten JJ y Cheng K. 2015. Infographic and public policy: Using data visualization to convey complex information. *Health Affairs* 34(11):1901-1907.

Pasquaretta C, Levé M, Claidière N, van de Waal E, Whiten A, Madntosh AJJ, Pelé M, Bergstrom ML, Borgeaud C, Brosnan SF, Crofoot MC, Fedigan LM, Fichtel C, Hopper LM,

Mareno MC, Petit O, Viktoria Schnoell AV, Polizzi di Sorrentino E, Thierry B, Tiddi B y Sueur C. 2014. Social networks in primates: smart and tolerant species have more efficient networks. *Scientific Reports* 4:1-8.

Pescott OL, Stroh PA, Humphrey TA y Walker KJ. 2022. Simple methods for improving the communication of uncertainty in species' temporal trends. *Ecological Indicators* 141:1-7.

Pérez-Alva BR, Galindo-Flores GL, Navarro-Noya YE, Estrada-Torres A, Flores-Manzanero A, Pérez-Flores GA y Cruz-Salazar B. 2024. Spatial genetic patterns of a long-lived tree species: the case of *Pinus Leiophylla* in a human-altered landscape of central Mexico. *Botany* 102(7):313-328.

Pérez-Flores J, Mardero S, López-Cen A y Contreras-Moreno FM. 2021. Human-wildlife conflicts and drought in greater Calaakmul Region, Mexico: implications for tapir conservation. *Neotropical Biology and Conservation* 16(4):539-563.

Pereira J, Santos MJ y Rosalino LM. 2021. Role of local communities in the social network of the protected area management. *Conservation Science and Practice* 4(5):1-11.

Peter M, Diekötter T, Höffler T y Kremer K. 2021. Biodiversity citizen science: Outcomes for the participating citizens. *People and Nature* 3(2):294-311.

Pidgeon N y Fischhoff B. 2011. The role of social and decision sciences in communicating uncertain climate risks. *Nature Climate Change* 1:25-41.

Piña-Covarrubias E, Chávez C y Doncaster CP. 2022. Knowledge of wildlife, hunting, and human-felid interactions in Maya forest communities of the northern Yucatán Peninsula, Mexico. *Human Ecology* 50:1035-1045.

Politi MC, Han PKJ y Col NF. 2007. Communicating the uncertainty of harms and benefits of medical interventions. *Medical Decision Making* 27(5):681-695.

Postert P, Wolf AEM y Schiewe J. 2022. Integrating visualization and interaction tools for enhancing collaboration in different public participation settings. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 11(3):1-14.

Prenda J, Domínguez-Olmedo JL, López-Lozano E, Fernández de Villarán R y Negro JJ. 2024. Assessing citizen science data quality for bird monitoring in the Iberian Peninsula. *Scientific Reports* 14(1):1-17.

Probert AF, Wegmann D, Volery L, Adriaens T, Baižkiu R, Bertolino S, Essl F, Gervasini E, Groom Q, Latombe G, Marisavljevic D, Mumford J, Pergl J, Preda C, Roy HE, Scalera R, Heliana T, Tricarico E, Vanderhoeven S y Bacher S. 2022. Identifying, reducing, and communicating uncertainty in community science: a focus on alien species. *Biological Invasions* 24:3395-3421.

Pujadas A y Castillo A. 2007. Social participation in conservation efforts: A case study of a biosphere reserve on private lands in Mexico. *Society and Natural Resources: An International Journal* 20(1):57-72.

Racero-Casarrubia J, Ortiz-Hoyos RD, Hyde M, Argel-Fernández A y Figel JF. 2024. Predation by jaguars and pumas on domestic animals in the southern region of the department of Córdoba, Colombia. *Biota Colombiana* 25:1-11.

Redondo I y Puelles M. 2016. The connection between environmental attitude-behavior gap and other individual inconsistencies: a call for strengthening self-control. *International Research in Geographical and Environmental Education* 26(2):107-120.

Rhodes JR, Guerrero AM, Bodin Ö y Chadè I. 2020. Fundamental insights on when social network data are most critical for conservation planning. *Conservation Biology* 34 (6):1463-1472.

Rigutto C. 2017. The landscape of online visual communication of science. *Journal of Science Communication* 16(2):1-9.

Rodríguez-Estrada FC y Davis LS. 2015. Improving visual communication of science through the incorporation of graphic design theories and practices into science communication. *Science Communication* 37(1):140-148.

Rose KM, Markowitz EM y Brossard D. 2019. Scientists' incentives and attitudes toward public communication. *Proceedings of the National Academy Science* 117(3):1274-1276.

Ross CA, Koudengurg N y Postmes T. 2023. The social dynamics approach to mediated communication. *European Review of Social Psychology* 35(2):424-457.

Rubalcava-Castillo FA, Sosa-Ramírez J, Luna-Ruíz JJ, Valdivia-Flores AG, Díaz-Núñez V e Íñiguez-Dávalos LI. 2020. Endozoochorous dispersal of forest seeds by carnivorous mammals in Sierra Fría, Aguascalientes, Mexico. *Ecology and Evolution* 10(6):2991-3003.

Sabo AN, Berger-Tal O, Blumstein DT, Greggor AL y Swaddle JP. Conservation practitioners and researchers' needs for bridging the knowledge-action gap. *Frontiers in Conservation Science* 5:1-12.

Salafsky N, Boshoven J, Burivalova Z, Dubois NS, Gomez A, Johnson A, Lee A, Margoluis R, Morrison J, Muir M, Pratt SC, Pullin AS, Salzer D, Stewart A, Sutherland WJ y Wordley CFR. 2018. Defining and using evidence in conservation practice. *Conservation Science and Practice* 1:1-15.

Samantray A y Pin P. 2019. Credibility of climate change denial in social media. *Palgrave Communications* 5:1-8.

Sakurai R, Kobori H, Nakamura M y Kikuchi T. 2015. Factors influencing public participation in conservation activities in urban areas: A case study in Yokohama, Japan, *Biological Conservation* 184:424-430.

Sánchez-Clavijo LM, Martínez-Callejas SJ, Acevedo-Charry O, Diaz-Pulido A, Gómez-Valencia B, Ocampo-Peñuela N, Ocampo D, Olaya-Rodríguez MH, Reyes-Velasco JC, Soto-Vargas C y Ochoa-Quintero JM. 2021. Differential reporting of biodiversity in two citizen science platforms during COVID-19 lockdown in Colombia. *Biological Conservation* 256:1-8.

Sánchez-Sánchez M y Lara C. 2024. Exotic and native plants play equally important roles in supporting and structuring plant-hummingbird networks within urban green spaces. *PeerJ*, 12:1-22.

Schill C, Wijermans N, Schlüter M y Lindahl T. 2016. Cooperation is not enough-exploring social-ecological micro-foundations for sustainable common-pool resource use. *PLoS ONE* 11(8):1-24.

Schill C, Anderies JM, Lindahl T, Folke C, Polasky S, Cárdenas JC, Crépin AS, Janssen MA, Norberg J y Schlüter. 2019. A more dynamic understanding of human behavior for the anthropocene. *Nature Sustainability* 2:1075-1082.

Schneider DC. 2001. The rise of the concept of scale in ecology. *BioScience* 51(7):545-553.

Schuster J y Kolleck N. 2020. the global diffusion of social innovation – an analysis of twitter communication networks related to inclusive education. *frontiers in Education* 5:1-11.

Siegenfeld A y Bar-Yam Y. 2020. An introduction to complex systems science and its applications. *Complexity* 2020:1-16.

Simis MJ, Madden H, Cacciatore MA Yeo SK. 2016. The lure of rationality: Why does the deficit model persist in science communication? *Public Understanding of Science* 25(4):400-414

Smith M, Finkler W y Aitken R. 2023. Connecting People with Science: A proof-of-concept study to evaluate action-based storytelling for science communication. *Sustainability* 15:1-20.

Squires TM, Yuda P, Akbar PG, Collar NJ, Devenish C, Taufiqurrahman I, Wibowo WK, Winarni NL, Yanuar A y Marsdeb SJ. 2021. Citizen science rapidly delivers extensive distribution data for birds in a key tropical biodiversity area. *Global Ecology and Conservation* 28:1-11.

Sockhill NJ, Dean AJ, Oh RRY y Fuller RA. 2022. Beyond the ecocentric: Diverse values and attitudes influence engagement in pro-environmental behaviors. *People and Nature* 4(6):1500-1512.

Stevenson KT, Lashley MA, Chitwood MC, Peterson MN y Moorman CE. 2015. How emotion trumps logic in climate change risk perception: exploring the affective heuristic among wildlife science students. *Human Dimensions of Wildlife* 20(6):501-513.

Steyaert SMJG, Kindberg J, Jerina K, Krofel M, Stergar M, Swenson JE y Zedrosser A. 2014. Behavioral correlates of supplementary feeding of wildlife: Can general conclusions be drawn? *Basic and Applied Ecology* 15(8):669-676.

Stofer KA, Hanson D y Hecht K. 2023. Scientists need professional development to practice meaningful public engagement. *Journal of Responsible Innovation* 10(1):1-12.

Sullivan BL, Wood CL, Iliff MJ, Bonney RE, Fink D y Kelling S. 2009. eBird: A citizen-based bird observation network in the biological sciences. *Biological Conservation* 142(10):2282-2292.

Suraci JP, Clinchy M, Zanette LY y Wilmers CC. 2019. Fear of humans as apex predators has landscape-scale impacts from mountain lions to mice. *Ecology Letters* 22(10):1578-1586.

Sutherland WJ y Wordley CFR. 2017. Evidence complacency hampers conservation. *Nature Ecology and Evolution* 1(9):1215-1216.

Sweller J. 1988. Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science* 12(2): 257-285.

Sweller J. 2024. Cognitive load theory and individual differences. *Learning and Individual Differences* 110:1-5.

Taddicken M y Krämer N. 2021. Public online engagement with science information: on the road to a theoretical framework and future research agenda. *Journal of Science Communication* 20(03):1-18.

Teixeira A, Gabriel R, Martinho J, Santos M, Faria A, Oliveira I y Moreira H. 2023. Pro-environmental behaviors: relationship with nature visits, connectedness to nature and physical activity. *American Journal of Health Promotion* 37(1):12-29.

Terry JCD, Roy HE y August TA. 2020. Thinking like a naturalist: Enhancing computer vision of citizen science images by harnessing contextual data. *Methods in Ecology and Evolution* 11:303-315.

Toomey AH, Knight AT y Barlow J. 2016. Navigating the space between research and implementation in conservation. *Conservation Letters* 10(5):619-625.

Toomey AH. 2023. Why facts don't change minds: Insights from cognitive science for the improved communication of conservation research. *Biological Conservation* 278(2):1-8.

Travers H, Walsh J, Vogt, Clement T y Milner-Gulland EJ. 2021. Delivering behavioral change at scale: What conservation can learn from other fields. *Biological Conservation* 257:1-8.

Trench B. 2023. Strengthening interdisciplinary in science communication education: promise, pleasures and problems. *Journal of Science Communication* 22(6):1-14.

Van der Wal R, Anderson H, Robinson A, Sharma N, Mellish C, Roberts S, Darvill y Siddhartan A. 2015. Mapping species distribution: A comparison of skilled naturalist and lay citizen science recording. *Ambio* 44:584-600.

Van Merriënboer JJG y Sweller J. 2010. Cognitive load theory in health professional education: design principles and strategies. *Medical Education* 44(1):85-93.

Velado-Alonso E, Kleijn D y Bartomeus I. 2024. Reassessing science communication for effective farmland biodiversity conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 36(6):537-547.

Verma A, Van der Wal R y Fischer A. 2015. Microscope and spectacle: On the complexities of using new visual technologies to communicate about wildlife conservation. *Ambio* 44:648-660.

Voit EO. 2019. Perspective: Dimensions of the scientific method. *PLoS Computational Biology* 15(9):1-14.

Vraga E, Myers T, Kotcher J, Beall L y Maibach E. 2018. Scientific risk communication about controversial issues influences public perceptions of scientists' political orientations and credibility. *Royal Society Open Science* 5:1-15.

Wang D, Xu PY, An BW y Guo QP. 2024. Urban green infrastructure: bridging biodiversity conservation and sustainable development through adaptive management approach. *Frontiers in Ecology and Evolution* 12:1-20.

Weingart P, Joubert M y Connaway K. 2021. Public engagement with science —Origins, motives and impact in academic literature and science policy. *PLoS ONE* 16(7):1-30.

Whitehead AL, Kujala H, Ives CD, Gordon A, Lentini PE, Wintle BA, Nicholson E y Raymonds CM. 2014. Integrating biological and social values when prioritizing places for biodiversity conservation. *Conservation Biology* 28(4):992-1003.

Xia M, He X y Zhou Y. 2021. Symbiosis of science communication ecosystem based on social media: A Lotka Volterra model-based simulation. *Complexity* 8:1-12.

Xing Y, Li M y Liao Y. 2022. Trust, identity, and public-sphere pro-environmental behavior in China: An extended attitude-behavior-context theory. *Frontiers in Psychology* 13:1-13.

Yang G, Csikász-Nagy A, Waites W, Xiao G y Cavaliere M. 2020. Information cascades and the collapse of cooperation. *Scientific Reports* 10:8004.

Yang B, Chao N y Wang CJ. 2023. A solid camp with flowing soldiers: heterogeneous public engagement with science communication on Twitter. *Humanities and Social Sciences Communication* 10(815):1234567890

Yankelevich G. 2018. Creer para ver: estudio intercientífico sobre la percepción, expresión y comunicación mediante imágenes. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Iztacala.

Yi J, Qu JG y Zhang WJ. 2022. Depicting the emotion flow: super-spreaders of emotional messages on Weibo during the COVID-19 pandemic. *Social Media + Society* 8(1):1-15.

Yletyinen J, Perry GLW, Stahlmann-Brown P, Pech R y Tylianakis JM. 2021. Multiples social network influences can generate unexpected environmental outcomes. *Scientific Reports* 11(1):1-14.

Zarei F, Gandica Y y Rocha LE. 2024. Burst of communication increase opinion diversity in the temporal Deffuant model. *Scientific Reports* 14:1-10.

## 11. ANEXOS

*#Modelo SEP de transmisión de información*

```
import numpy as np
import networkx as nx
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.integrate import odeint
import random
```

*#Parámetros del modelo*

*#Número total de Individuos*

$n = 100$

*#Número inicial de individuos participando*

$P0 = 1$

*#Número inicial de individuos expuestos*

$E0 = 0$

*#Número inicial de individuos susceptibles*

$S0 = n - P0 - E0$

$eff\_com = 1$  *#Efectividad de Comunicación, se refiere a la*

*#calidad de las estrategias de comunicación*

$conct = 0.5$  *#Conectividad*

$att\_dis = 0.5$  *#Distribución de actitudes*

```

aff_res = 0.5 #Respuesta afectiva

#TASA DE TRANSMISION (Beta)
beta = eff_com * conct

#TASA DE PARTICIPACIÓN (K)
K = att_dis * aff_res

#TASA DE DECAIMIENTO (gamma)
gamma = 0.1 * (1 - aff_res)

#Tiempo (en horas)
t = np.linspace(0, 100, 1000)

#Sistema de ecuaciones diferenciales
def deriv(y, t, n, beta, gamma):
    S, E, P = y
    dSdt = -beta * S * P / n + gamma * P
    dEdt = beta * S * P / n - K * E
    dPdt = K * E - gamma * P
    return dSdt, dEdt, dPdt

#Vector de condiciones iniciales
y0 = S0, E0, P0

#Integración
sol = odeint(deriv, y0, t, args = (n, beta, gamma))

```

S, E, P = sol.T

*#Visualización*

```
plt.figure(figsize=[6, 4])
plt.plot(t, S, label = "Susceptibles")
plt.plot(t, E, label = "Expuestos")
plt.plot(t, P, label = "Participando")
plt.grid()
plt.legend()
plt.xlabel("Tiempo")
plt.ylabel("Número de individuos")
```

```
plt.show()
```

```
#####
```

*#MBA de transmisión de información*

```
import numpy as np
import networkx as nx
import matplotlib.pyplot as plt
import random
```

*#Parámetros del modelo*

```
n_nodos = 100
n_participantes_iniciales = 1
k = 0.5
pasos = 100
simulaciones = 100
```

```
#Función pra inicializar los nodos
```

```
def inicializar_red():
```

```
    G = nx.erdos_renyi_graph(n_nodos, 0.1)
```

```
    for node in G.nodes:
```

```
        G.nodes[node]['estado'] = 'S'
```

```
        G.nodes[node]['actitud'] = 'negativa' if random.random() < 0.5 else 'positiva'
```

```
        G.nodes[node]['respuesta emocional'] = 0
```

```
        G.nodes[node]['umbral_aceptacion'] = random.uniform(0.1, 0.9)
```

```
        G.nodes[node]['persistencia'] = random.uniform(0.6, 0.9)
```

```
    participantes_iniciales = random.sample(list(G.nodes), n_participantes_iniciales)
```

```
    for node in participantes_iniciales:
```

```
        G.nodes[node]['estado'] = 'P'
```

```
        G.nodes[node]['actitud'] = 'positiva'
```

```
    return G
```

```
#Función que ejecuta un paso de la simulación
```

```
def simular_paso(G):
```

```
    nuevos_participantes = set()
```

```
    for node in G.nodes:
```

```
        if G.nodes[node]['estado'] == 'P':
```

```
            vecinos = list(G.neighbors(node))
```

```
            if vecinos:
```

```

for vecino in vecinos:
    if G.nodes[vecino]['estado'] == 'S':
        if G.nodes[vecino]['actitud'] == 'positiva':
            G.nodes[vecino]['respuesta_emocional'] = random.uniform(0.1, 0.9)
            if G.nodes[vecino]['respuesta_emocional'] >
G.nodes[vecino]['umbral_aceptacion']:
                nuevos_participantes.add(vecino)
        else: #actitud negativa
            actitudes_vecinos = [G.nodes[v]['actitud'] for v in G.neighbors(vecino)]
            if actitudes_vecinos.count('positiva') > actitudes_vecinos.count('negativa'):
                prob_cambio = random.random()
                if prob_cambio > G.nodes[vecino]['persistencia']:
                    G.nodes[vecino]['actitud'] = 'positiva'
                    G.nodes[vecino]['respuesta_emocional'] = random.uniform(0.1, 0.9)
                    if G.nodes[vecino]['respuesta_emocional'] >
G.nodes[vecino]['umbral_aceptacion']:
                        nuevos_participantes.add(vecino)

#Actualizar nodos 'P'
for node in nuevos_participantes:
    G.nodes[node]['estado'] = 'P'

#Todos los nodos P decaen a S con probabiliad k
for node in G.nodes:
    if G.nodes[node]['estado'] == 'P':
        if random.random() < k:
            G.nodes[node]['estado'] = 'S'

```

```

#Función que corre la simulación completa
def correr_simulación():
    resultados_simulacion = []

    for sim in range(simulaciones):
        G = inicializar_red()
        pasos_participantes = []

        for t in range(pasos):
            #contar nodos en estado 'P' antes de simular el paso
            participantes = len([n for n in G.nodes if G.nodes[n]['estado'] == 'P'])
            pasos_participantes.append(participantes)

            #Ejecutar un paso de la simulación
            simular_paso(G)

        resultados_simulacion.append(pasos_participantes)

    return resultados_simulacion

#Función para graficar los resultados
def graficar_resultados(resultados_simulacion):
    plt.figure(figsize=(10, 6))

    #Graficar cada simulación con una línea de color diferente
    for resultado in resultados_simulacion:
        plt.plot(resultado, color = np.random.rand(3,))

```

```
#Graficar el promedio de todas las simulaciones
promedio = np.mean(resultados_simulacion, axis= 0)
plt.plot(promedio, color = 'black', linewidth = 2, label = 'Promedio')

plt.xlabel('Tiempo(días)')
plt.ylabel('Número de participantes')
plt.legend()
plt.show()

#Ejecutar la simulación y graficar los resultados
resultados = correr_simulación()
graficar_resultados(resultados)
```