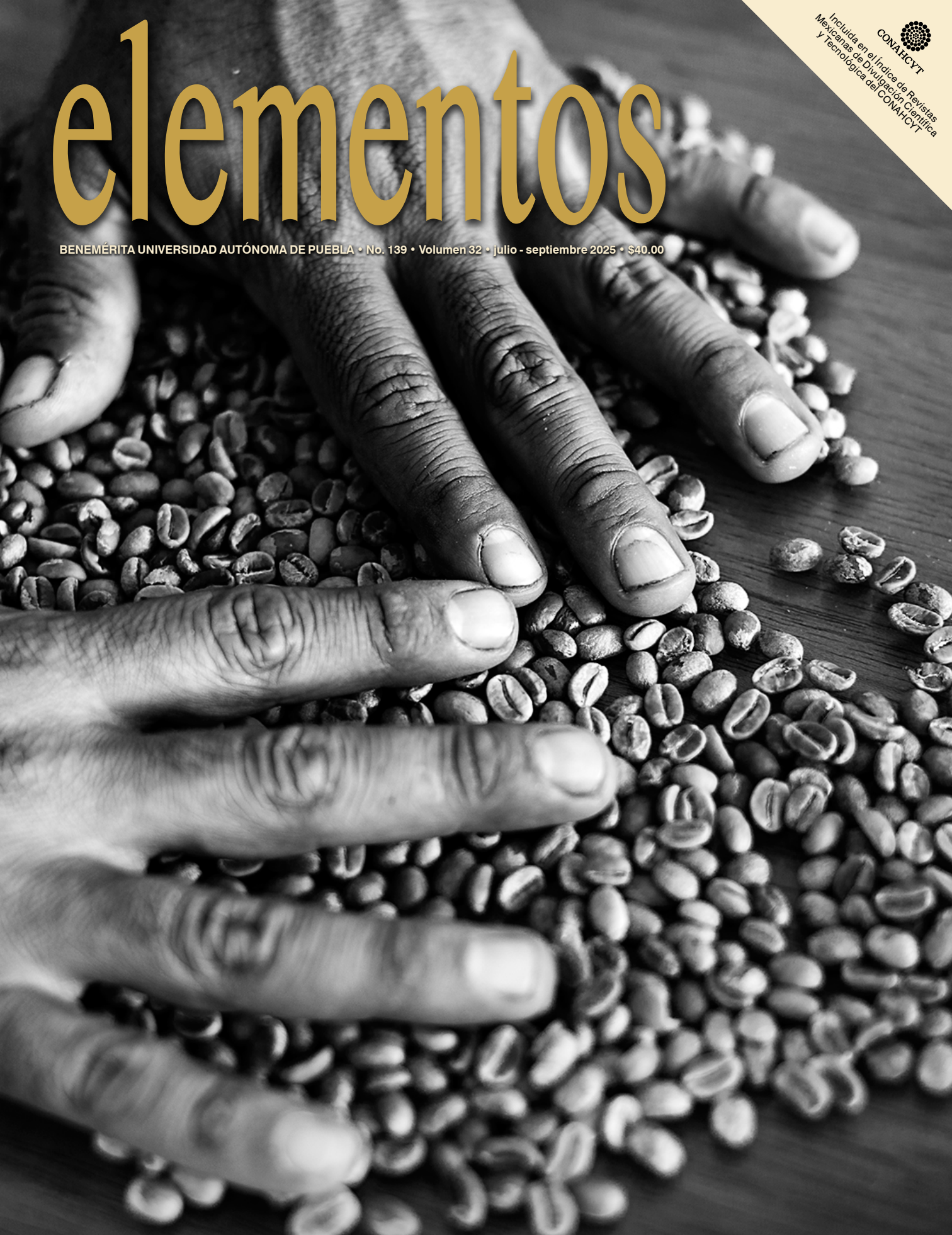


elementos

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA • No. 139 • Volumen 32 • julio - septiembre 2025 • \$40.00

CONAHCYT
Incluida en el Índice de Revistas
Mexicanas de Divulgación Científica
y Tecnológica del CONAHCYT



00139

EXHIBIR HASTA EL 30-SEPTIEMBRE-2025

Uexküll y su teoría del Umwelt: una fenomenología de los mundos de la vida | ¿Cuántas lógicas correctas hay? | Thomas Kuhn y la relación ciencia, tecnología y sociedad | Notas sobre la presencia de Gabriel Marcel en las primeras obras de Luis Villoro | Distorsiones perceptivas raras: demonios, cuentos infantiles y cuestiones filosóficas | Bacterias: aliadas en la ecología y la biorremediación | Precaución: consérvese el agua lejos de los medicamentos | Más que madera: los beneficios socioambientales de los árboles | Por un Museo de Telecomunicaciones para México | Internet, *big data* y ciencia de datos: una triada transformadora | Cuando tres mundos cósmicos se besan | Aves del Ecomcampus Valsequillo de la BUAP: un primer contacto | Avverso, el fascinante universo de las aves | Mecanismos cooperativos en la comunicación bacteriana | *Sclerotium rolfsii*: una amenaza para los cultivos agrícolas que empeora con el cambio climático | La felicidad en una taza de café | La matemática de la poesía permutante en Cortázar | Las ingenieras y los ingenieros también escriben | Obra gráfica: Rafael Pareja



S U M A R I O



BUAP

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
rectora, Ma. Lilia Cedillo Ramírez
secretario general, José Manuel Alonso Orozco
vicerector de investigación y estudios de posgrado, Ygnacio Martínez Laguna

ELEMENTOS

www.elementos.buap.mx

revista trimestral de ciencia y cultura
 número 139, volumen 32, julio-septiembre de 2025

director, Enrique Soto Eguibar

subdirector, José Emilio Salceda

diseño y producción gráfica, Mirna Guevara

corrección de estilo, Emilio Salceda y Leopoldo Noyola

sitio web y laboratorio multimedia, Leopoldo Noyola

redes sociales, Mirna Guevara

administración y logística, Lorena Rivera e Ileana Gómez

redacción, 14 Sur 6301, Ciudad Universitaria

Apartado Postal 406, Puebla, Pue., C.P. 72570

email: esoto24@gmail.com

consejo editorial, Itziar Aretxaga (INAOE),

Beatriz Eugenia Baca (ICUAP, BUAP),

María Emilia Beyer Ruiz (DGDC, UNAM),

María de la Paz Elizalde, (ICUAP, BUAP),

Ana Lidya Flores Marín (IBERO Puebla),

Marcelo Gauchat (FUNDACIÓN FORMA, A. C.),

Sergio Segundo González Muñoz (COLPOS Montecillo),

Federico Méndez Lavielle (Facultad de Ingeniería, UNAM),

Jesús Mendoza Álvarez (Instituto Politécnico Nacional),

Ricardo Moreno Botello (Ediciones de Educación y Cultura),

Francisco Pellicer Graham (Instituto Nacional de Psiquiatría),

Adriana Pliego Carrillo (Facultad de Medicina, UAEM),

Leticia Quintero (Facultad de Ciencias Químicas, BUAP),

José Emilio Salceda (Instituto de Fisiología, BUAP),

Gerardo Torres del Castillo (ICUAP, BUAP), Catalina Valdés Baizabal

(Laboratorio de Neurobiología Celular, Universidad

de La Laguna), Enrique Vergara (ICUAP, BUAP)

obra gráfica, © Rafael Pareja

Portada, © De la serie *Nuestras manos*, 2015

Contraportada, © De la serie *Nuestras manos*, 2013

2ª y 3ª de forros, © De la serie *Nuestras manos*, 2018

CINTILLO LEGAL

ELEMENTOS, Año 40, No. 139, julio a septiembre de 2025, es una publicación trimestral editada por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, con domicilio en 4 Sur número 104, Col. Centro, C. P. 72000, Puebla, Pue., y distribuida a través de Revista Elementos, con domicilio en Av. 14 Sur No. 6301, Col. San Manuel, Puebla, Pue. C. P. 72570. Tel. 222 229 55 00 ext. 7316. Editor responsable Dr. Enrique Soto Eguibar, esoto24@gmail.com. Reserva de derechos al uso exclusivo 04-2018-101113435900-102. ISSN 0187-9073, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor de la Secretaría de Cultura. Este número se terminó de imprimir en junio de 2025. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.



ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS
 DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



Uexküll y su teoría del Umwelt: una fenomenología de los mundos de la vida	3
Juan Alberto Bastard Rico	
¿Cuántas lógicas correctas hay?	9
Christian Romero Rodríguez	
Thomas Kuhn y la relación ciencia, tecnología y sociedad	17
Arturo Santos Raga	
Notas sobre la presencia de Gabriel Marcel en las primeras obras de Luis Villoro	25
José Luis Evangelista Ávila	
Distorsiones perceptivas raras: demonios, cuentos infantiles y cuestiones filosóficas	31
Fernando Gordillo León y Lilia Mestas Hernández	
Mi historia con la fotografía	39
Rafael Pareja	
Bacterias: aliadas en la ecología y la biorremediación	43
Luis Ramón Benítez-Colio y Carmen Cristina Osuna-Martínez	
Precaución: consérvese el agua lejos de los medicamentos	47
Cinthya Pamela Del Río Galván y Roberto Carlos Hernández León	
Más que madera: los beneficios socioambientales de los árboles	51
Marlín Pérez-Suárez y Tomás Martínez-Trinidad	
Por un Museo de Telecomunicaciones para México	57
Leopoldo Noyola	
Internet, <i>big data</i> y ciencia de datos: una triada transformadora	65
María Josefa Somodevilla García	
Cuando tres mundos cósmicos se besan	71
Dante Virgilio Gomez-Navarro	
Aves del Ecocampus Valsequillo de la BUAP: un primer contacto	77
José Antonio González Oreja y Carlos Augusto Camacho Becerra	
Aviverso, el fascinante universo de las aves	85
Edson A. Alvarez-Alvarez	
Mecanismos cooperativos en la comunicación bacteriana	91
Esmeralda Escobar Muciño	
<i>Sclerotium rolfsii</i> : una amenaza para los cultivos agrícolas que empeora con el cambio climático	99
Miriam Angélica Cordero Burgos y José Antonio Cervantes Chávez	
La felicidad en una taza de café	107
Aída Atenea Bullen Aguiar	
La matemática de la poesía permutante en Cortázar	115
Manuel González Sarabia y Ma. del Rosario Munguía Fuentes	
Las ingenieras y los ingenieros también escriben	119
María Dolores Flores Aguilar	



© Rafael Pareja. De la serie *Bajo la lluvia*. 2013

Uexküll y su teoría del Umwelt: una fenomenología de los mundos de la vida¹

Juan Alberto **Bastard Rico**

Nosotros, los seres humanos, solemos asumir que la realidad es tal como se nos presenta a nuestros sentidos y a nuestra mente.

Pero, ¿se presenta del mismo modo a otros seres vivos, por ejemplo, a otros animales no humanos? ¿Se ha detenido a pensar usted, apreciable lector, en cómo percibe la realidad su mascota, en caso de tenerla, ya sea su gato o su perro? ¿Y si el mundo no se reduce a ser como humanamente lo percibimos y hay, más allá de lo humano, otras percepciones del mundo?

Mejor dicho aún, ¿si hay otros mundos no humanos? ¿Cómo es, pues, el mundo de la araña que se esconde entre los rincones de su hogar? ¿O el mundo de las aves que cada mañana cantan en los jardines de la ciudad, o el del zorro que habita los bosques, o el del manatí que nada en las aguas del mar de Cortés, o el de esa tan extraña como carismática criatura de los lagos del valle de México llamada ajolote?

Preguntas similares se planteó un biólogo báltico-alemán en las primeras décadas del siglo XX, y a ellas trató de dar respuesta con sus planteamientos teóricos. Su nombre: Jakob von Uexküll; su teoría: la doctrina de los mundos circundantes.

LA TEORÍA DE LOS MUNDOS CIRCUNDANTES COMO UNA FENOMENOLOGÍA BIOLÓGICA

Uexküll pensaba que, efectivamente, cada ser vivo percibía la realidad de manera distinta a otros organismos, por lo que desarrolló toda una propuesta teórica para dar cuenta de ello. Con el fin de explicar su idea, introdujo en la biología el término alemán *Umwelt*, que se ha traducido precisamente como “mundo circundante” (pues el prefijo *um-* refiere a algo que circunda, que rodea; mientras que *Welt* significa “mundo”). El mundo circundante no es el mundo en sí, sin más; sino que es el mundo de cosas que rodea a un ser vivo, a modo de una burbuja; es el mundo como un sujeto cualquiera lo experimenta. Así, la tesis principal de la doctrina uexkülliana es, pues, que hay una multiplicidad de mundos, tan variados como los seres vivos del planeta. Por esta razón, hay quienes han visto en sus planteamientos biológicos una suerte de fenomenología, entendiendo por esta un estudio filosófico del modo en que las cosas del mundo aparecen ante un sujeto. El nombre de fenomenología viene del término “fenómeno”, que etimológicamente tiene su raíz en el griego *φαινόμενον* (*phainomenon*) y que significa manifestación o aparecer.

Generalmente, se concibe a la fenomenología como un estudio sobre la forma de la experiencia humana, sobre todo en la tradición abierta por Edmund Husserl.² Sin embargo, los planteamientos uexküllianos, hechos desde la perspectiva biológica, apuntarían a un estudio de experiencias más allá de lo humano, es decir, a una fenomenología no antropocéntrica. De acuerdo con esto, el planteamiento teórico uexkülliano puede verse como una fenomenología biológica en dos sentidos: en primer lugar, porque parte de la manera en que lo vivo se presenta fenoménicamente a nuestra humana conciencia; para así, en segundo lugar, admitir que los otros seres vivos son igualmente sujetos de experiencias. El antropólogo Helmuth Plessner fue quizás el primero en considerar a la biología uexkülliana como una “fenología³ del comportamiento

viviente: la explicación del comportamiento animal visible a nosotros en factores perceptivos por los sentidos” (1975, p. 63).

Más recientemente, ha sido el biosemiótico Morten Tønnessen quien ha sugerido que la doctrina de los mundos circundantes puede verse como una “fenomenología uexkülliana”: “Lo que presento bajo la etiqueta de ‘fenomenología uexkülliana’ –afirma– se caracteriza por la asunción de la existencia universal (en la realidad de la vida) de una genuina perspectiva en primera persona, i.e., de mundos de experiencia” (2015, p. 362). Pero, ¿cómo fue que Uexküll desarrolló toda una propuesta biológica para dar cuenta de los mundos circundantes de la vida?

LA DIMENSIÓN FISIOLÓGICA DEL UMWELT

Uexküll, que estudió fisiología tras dejar incompleta la carrera de zoología, introdujo el concepto de *Umwelt* por primera vez en 1909 en un libro que recopila los resultados de sus investigaciones fisiológicas en animales, titulado *Umwelt und Innenwelt der Tiere* (que se traduciría al español como *Mundo circundante y mundo interior de los animales*). En el contexto de sus estudios fisiológicos fue que este biólogo analizó cómo la disposición de los órganos que componen el cuerpo de un animal responde a una organización específica denominada *Bauplan*, es decir, plan de construcción. Así, observó que la percepción que un animal tiene de la realidad que le rodea depende de ese plan de construcción, concretamente del tipo de órganos receptores que posea el cuerpo del animal, así como de su distribución y nivel de desarrollo.

De esta manera, pensaba Uexküll, cada especie tiene su propio modo de percibir lo real, y hay tantos modos de percepción cuantas especies habitan la naturaleza. Esto lo llevó a ofrecer una primera definición del *Umwelt* como el sector de la realidad que un organismo es capaz de percibir y de acuerdo con el modo en que la percibe. “La suma de todos los estímulos que un animal recibe, gracias al diseño de sus receptores, constituye su mundo circundante”, nos dice Uexküll (1909, p. 55).

Explicando más a detalle: de todos los influjos que hay en el medio ambiente que rodea a un organismo en la naturaleza, este solo es capaz de captar algunos de ellos mediante sus órganos receptores. Estos órganos receptores convierten aquellos influjos captados en estímulos que, bajo una labor interpretativa del sujeto viviente, conforman el mundo circundante de ese ser vivo. Así, como se ve, Uexküll pensaba en este momento de sus investigaciones fisiológicas que el *Umwelt* refiere al horizonte perceptivo de un organismo.

LA DIMENSIÓN TRASCENDENTAL DEL UMWELT

Aunque en el esbozo de su teoría realizado en sus primeros trabajos de corte más fisiológico ya está presupuesto el hecho de que los seres vivos son sujetos de experiencias, este es evidenciado más claramente por Uexküll en su trabajo posterior de talante más teórico y filosófico. Ello se ve en su libro más ambicioso, titulado *Theoretische Biologie (Biología Teórica)*, publicado en 1920, en el que el biólogo báltico pone de manifiesto que uno de los pilares de su propuesta teórica es la filosofía trascendental de Immanuel Kant, quien hizo un estudio de la estructura *a priori* de la subjetividad que condiciona la experiencia humana. Uexküll aclara en el mencionado libro que su objetivo es ampliar el alcance de los resultados de las investigaciones kantianas al terreno de la biología en dos sentidos: 1) hacia el rol que juega la corporalidad y sus órganos sensorios en la configuración de la experiencia, y 2) hacia otras subjetividades no humanas. De este modo, Uexküll concede que seres vivos no humanos también poseen una estructura subjetiva apriorística (por ejemplo, el espacio y el tiempo como formas puras de la sensibilidad) que les permite configurar sus mundos específicos de experiencia, sus mundos subjetivos: los mundos circundantes.

Según Uexküll, en tal configuración de los mundos subjetivos entran en juego una serie de procesos orgánicos de emisión de acciones que se corresponden con determinadas percepciones del organismo; a estos procesos los denominó círculos funcionales. Según él, cinco son los círculos funcionales

que pueden atravesar la vida de un sujeto: el círculo del medio, el del alimento/presa, el del enemigo, el círculo sexual y el de la familia/comunidad. Esto implica entonces que, biológicamente, la realidad es “apariencia subjetiva” (1926, p. xv); es decir, la biología debe considerar, de acuerdo con Uexküll, que la realidad aparece de variados y determinados modos a cada sujeto de la vida.

En estas variadas experiencias que ha de tener en cuenta la biología, solo se hacen manifiestas aquellas cosas que resultan esenciales para las acciones de un organismo, por lo que Uexküll divide ahora el mundo circundante en dos partes: mundo de percepción y mundo de acción. “Mundo de acción y mundo de percepción juntos hacen un todo comprensivo, el cual llamo mundo circundante”, afirma (1926, p. 127).

LA DIMENSIÓN SIGNIFICATIVA DEL UMWELT

Esta última definición uexkülliana del *Umwelt* se ha convertido quizás en la más famosa, al ser básicamente la misma que ofrece en su libro más conocido y exitoso, acaso por haber sido escrito con fines divulgativos, que lleva por título *Andanzas por los mundos circundantes de los animales y los hombres* y que fue publicado en 1934. En dicha obra sentenciaba que “todo lo que un sujeto percibe se torna su mundo perceptual, y todo su obrar se vuelve su mundo efectual. Mundo perceptual y mundo efectual conforman juntos una unidad cerrada: el mundo circundante” (2016, p. 35).

Haber señalado en tal definición que el mundo circundante es también un mundo que comprende las acciones de un organismo lleva a Uexküll a realizar estudios biológicos del comportamiento animal, llegando a colaborar con el mismo Konrad Lorenz, considerado el padre de la etología moderna. Varios de los resultados de sus observaciones etológicas, realizadas en su Instituto de Investigaciones del Mundo Circundante (que fue inaugurado en Hamburgo en 1927), son presentados en su libro antes mencionado.



© Rafael Pareja. De la serie *Bajo la lluvia*, 2015.

En tales estudios etológicos, Uexküll notaba que los animales se relacionan, mediante sus comportamientos, solo con aquellas cosas del medio que son significativas para ellos. Así, su teoría del mundo circundante toma una última forma, en su obra tardía, como una teoría de la significación. En ella argumenta que la biología debe estudiar los procesos de significación de los sujetos vivientes y las relaciones significativas que estos establecen con el entorno al cual están ajustados en virtud de una regla de la naturaleza orgánica que Uexküll llama *conformidad a plan*. En su texto de 1940, que precisamente titula *Teoría de la significación*, el biólogo báltico-alemán explica el ajuste entre organismo y medio, como resultado de la regla de la conformidad a plan, valiéndose de bellas metáforas musicales: las relaciones significativas de un organismo con objetos del medio, incluyendo otros seres vivos, son como relaciones de contrapunto, siendo la vida de cada sujeto como una melodía independiente que, no obstante, armoniza con otras melodías con las que forma toda una sinfonía de la naturaleza. Los mundos circundantes son así mundos armoniosamente significativos: “Todo mundo circundante –sostiene Uexküll– forma una unidad armónica que en todas sus partes es dominada por la significación que tiene para el sujeto” (1942, pp. 25-26). Investigar las relaciones de significación de los seres vivos en sus mundos

circundantes era para él como ir descubriendo la partitura de la naturaleza.

EJEMPLIFICACIÓN DEL CONCEPTO DE MUNDO CIRCUNDANTE

A lo largo de su obra, Uexküll ejemplifica sus ideas con varios casos, sobre todo de animales, que fueron los seres vivos a los que más dedicó sus estudios: en sus análisis fisiológicos, llega a señalar la parte del cerebro de un pulpo en donde ocurre la síntesis de estímulos que le permiten al octópodo el reconocimiento de objetos; el ajuste armonioso entre organismo y medio, incluyendo el ajuste interespecie, lo explica con las abejas que solo se sienten atraídas por las formas radiadas y angulosas de una flor, así como con las polillas que son capaces de detectar el sonido de un murciélago para poder escapar de él; y no se puede dejar de lado el que se ha vuelto el ejemplo más conocido de este biólogo, la famosa garrapata que, para sobrevivir, no necesita más que identificar tres signos perceptivos en toda su vida, a saber, la luz solar para subir a un árbol, el ácido butírico que expele un mamífero para dejarse caer sobre su cuerpo y el calor corporal del mismo mamífero para saber dónde picar y consecuentemente succionar su sangre.

Para ilustrar la teoría uexkülliana del *Umwelt*, podemos nosotros tomar por caso el de una simpática especie endémica de nuestro México: el ya mencionado ajolote, que es un anfibio que permanece toda su vida en estado larvario, con la capacidad de regenerar partes corporales y que habita algunos lagos del centro del país. A pesar de que aún queda mucho por investigar acerca de sus modos de percepción y de su comportamiento, sabemos algunas cosas que nos permitirían vislumbrar cómo podría ser su mundo circundante: aunque los ajolotes tienen una visión no muy desarrollada, les permite identificar sombras para moverse en las turbias profundidades de los lagos; para fines reproductivos, detecta a otros individuos de su misma especie por estímulos químicos olfativos; mientras que a sus presas, entre las que están peces pequeños y renacuajos, como a las tilapias, que son sus

depredadoras, las identifica por los movimientos del agua e incluso por señales eléctricas que detecta mediante su línea lateral. Esto conformaría, en parte, el *Umwelt* del ajolote: un mundo de peces, renacuajos, gusanos, insectos y demás seres de los que se alimenta; un mundo de tilapias, de las que tiene que ocultarse; un mundo de otros ajolotes con los que se reproduce; un mundo de sombras, en las de por sí turbias aguas de los lagos mexicanos, entre las que se mueve; todo ello detectado por signos visuales, químicos, mecánicos y eléctricos.

CONCLUSIÓN

Si bien la teoría uexkülliana del *Umwelt* no fue muy bien recibida por la comunidad científica del siglo XX, hubo excepciones como la de Ludwig von Bertalanffy además del aludido Konrad Lorenz. Este último puso a funcionar el concepto de *Umwelt* desde la teoría darwiniana de la evolución, tratando de entender el ajuste entre organismo y medio, que tal noción refleja, como un producto de la selección natural. Esto ha permitido que la idea del mundo circundante se vuelva punto de partida y presupuesto de algunos estudios en ecología del comportamiento, permitiéndole integrarse en enfoques biológicos más contemporáneos. Más allá de la biología, dicha teoría tuvo una aceptación considerable en la filosofía, siendo retomada por pensadores importantes como Heidegger, Cassirer, Deleuze, Merleau-Ponty, Agamben, entre otros. Actualmente, se ha mantenido vigente en gran medida por ser uno de los pilares de la biosemiótica, que es el estudio interdisciplinario de los procesos semióticos en los seres vivos; además de que parece haber un creciente interés hacia ella en algunos trabajos de neurobiología y ciencias cognitivas (principalmente por el lado de la cognición corporeizada), y a causa de las preocupaciones medioambientales por la crisis ecológica que atravesamos.⁴

A pesar de ser una teoría biológica que fue planteada hace aproximadamente 100 años —el pasado 2024 se cumplieron 160 años del nacimiento de su creador y 80 años de su muerte—, no hay duda de que sigue teniendo una potencia teórica y conceptual



© Rafael Pareja. De la serie *Bajo la lluvia*, 2015.

relevante tanto dentro de la biología como fuera de ella. Considerada como una fenomenología de los mundos de la vida, la teoría del *Umwelt* de Jakob von Uexküll nos invita a reflexionar que el mundo no se reduce al modo en que humanamente se nos presenta y que hay otros mundos de experiencia más allá de lo humano, en la medida en que hay otras subjetividades con las que compartimos el planeta y una realidad en común.

En conclusión, nos invita a pensar que la naturaleza, más que ser un conjunto de entes y relaciones meramente materiales, es un conglomerado de relaciones significativas entre sujetos y una red de vínculos entre los variados mundos fenoménicos, entre *Umwelten*.⁵

NOTAS

¹ Este trabajo, que se ha hecho con fines divulgativos, es parte del proyecto de posdoctorado titulado “La fenomenalidad semiótica de lo vivo: reflexiones semiótico-fenomenológicas hacia una filosofía de la vida”, el cual es realizado en la Facultad de Filosofía y Letras de la BUAP, dentro del programa de Estancias Posdoctorales por México de la SECIHTI, y bajo la dirección del doctor Luis Ignacio Rojas Godina.

² No obstante, resulta curioso que, aun sin aludir directamente a Uexküll, Husserl hace un uso similar de la noción de *Umwelt* dentro de su propuesta fenomenológica. Si bien de inicio se vale del término para referirse al mundo cotidiano humano, como un antecedente de su famoso concepto de *Lebenswelt*, va extendiendo su uso hacia otras subjetividades no humanas. Más allá de Husserl, otros pensadores dentro la tradición fenomenológica sí que han referido



© **Rafael Pareja**. De la serie *Bajo la lluvia*, 2015.

al trabajo de Uexküll, aunque desde posiciones contrastantes: por un lado, Heidegger se vale de la doctrina uexkülliana para pensar lo distintivo del mundo humano en relación con los mundos animales, instaurando un abismo entre ellos; por otro lado, Maurice Merleau-Ponty recurre a la biología uexkülliana en tanto que le permite desarrollar una ontología más horizontal respecto de los cuerpos vivos, relativizando incluso el valor de la conciencia humana.

³ El término en alemán que usa Plessner es *Phänologie*, pero con la misma raíz etimológica que *Phänomenologie*.

⁴ En cuanto a la recepción que ha tenido la teoría uexkülliana del *Umwelt* en estudios científicos ya en el siglo XXI, principalmente dentro de las áreas de la ecología y la neuroetología, me limito por lo pronto a referir a los siguientes trabajos: el artículo de Stephen Burnett titulado "Perceptual Worlds and Sensory Ecology", publicado en 2011 en la revista *Nature*; el artículo "Changing organisms in rapidly changing anthropogenic landscapes: the significance of the 'Umwelt'-concept and functional habitat for animal conservation" de Hans Van Dyck, publicado también en 2011 en la revista *Evolutionary Applications*; y el volumen editado en Springer por A. Berthoz y Yves Christen, en 2009, titulado *Neurobiology of Umwelt*.

⁵ Plural en alemán de *Umwelt*.

R E F E R E N C I A S

Plessner H (1975). *Die Stufen des Organischen und der Mensch. Einleitung in die philosophische Anthropologie*, 3ª ed., Berlín/Nueva York: Gruyter.

Tønnessen M (2015). Uexküllian Phenomenology. *Chinese Semiotic Studies* 11(3):347-369.

Uexküll J von (2016). *Andanzas por los mundos circundantes de los animales y los hombres*, traducción de Marcos Guntin, Buenos Aires: Cactus.

Uexküll J von (1942). *Meditaciones biológicas. La teoría de la significación*, traducción de José M. Sacristán, Madrid: Revista de Occidente.

Uexküll J von (1926). *Theoretical Biology*, traducción de DL Mackinnon, Nueva York: Harcourt, Brace & Company, Inc.

Uexküll J von (1909). *Umwelt und Innenwelt der Tiere*, Berlín: Verlag von Julius Springer.

Juan Alberto Bastard Rico
Facultad de Filosofía y Letras BUAP
Facultad de Filosofía y Letras UNAM
albertobastard.87@gmail.com

¿Cuántas lógicas correctas hay?

Christian **Romero Rodríguez**

¿Cuándo fue la última vez que usaste la palabra «lógica»? Probablemente la usaste en una conversación cotidiana, para referirte a algo obvio o razonable. Después de todo, la mayoría de las personas cree razonar bien y entender lo evidente. Entonces, ¿para qué aprender lógica? La respuesta no es tan sencilla. Se suele decir que la lógica estudia las formas de razonamiento correcto. Pero ¿qué garantía tenemos de que cierta forma de razonamiento es realmente correcta? Actualmente, la respuesta a esto es un problema abierto. Incluso entre los filósofos de la lógica persisten preguntas fundamentales sin respuestas definitivas: ¿qué es la lógica?, ¿cuántos tipos de lógica existen?, ¿qué hace que las lógicas sean «correctas»? En este texto, exploraré estas tres cuestiones para invitarte a reflexionar sobre algunas preguntas de la investigación en lógica. Si bien considero que el uso explícito de herramientas formales podría ayudar a entender mejor estos problemas, he optado por dejarlas de lado con el fin de compartir estas ideas con un público más amplio.

¿QUÉ ES LA LÓGICA?

Una de las definiciones más difundidas de la lógica es que se trata del estudio de “qué se sigue de qué”. Sin embargo, para el público en general, esta explicación suele resultar poco clara. Aunque pueda sonar como un trabalenguas, de esta idea es posible extraer información muy útil. Por ejemplo, cuando tú has acumulado información que está

conectada entre sí, generalmente es posible inferir conclusiones. Esto es lo que hacemos al redactar un ensayo, una tesis de licenciatura o incluso una tesis de posgrado. Pero, ¿cómo saber si mi conclusión es verdadera y realmente se sigue de la información inicial? Pues bien, es en este momento cuando tú debes acudir a tu lógico de confianza.

La tarea del lógico consiste, entonces, en evaluar si, a partir de una colección de razones, es posible derivar o no una conclusión. Por ejemplo:

1. Si todos los que leen *Elementos* son personas cultas, y
2. Tú estás leyendo este artículo,
3. Podemos concluir que tú eres una persona culta.

Este tipo de argumentos suele considerarse válido, ya que, siempre que las premisas sean verdaderas (como en este caso), la conclusión también debe serlo. Sin embargo, si tú nunca has leído *Elementos* (no es verdad 2), no podríamos concluir que no eres una persona culta. Tú, por ejemplo, podrías no tener acceso a la revista debido a barreras como el idioma. Como en estos ejemplos, existen múltiples argumentos que pueden considerarse como válidos o inválidos.

Usualmente, se considera que un argumento es *válido* si y solo si, en todas las interpretaciones, si las premisas son verdaderas, entonces la conclusión también lo es. Para definir validez, los lógicos usamos dos tipos de conexiones que parecen similares pero cumplen funciones diferentes: el “si..., entonces...” y el “si y solo si”. El “si..., entonces...” significa que cada vez que las premisas sean verdaderas, la conclusión tiene que ser verdadera también. Es como decir: “si pasa esto, entonces debe pasar aquello”. No significa que la conclusión solo pueda ser verdadera en ese caso, sino que no puede ser falsa cuando las premisas son verdaderas. Por otro lado, el “si y solo si” es una conexión más fuerte que se usa para dar definiciones claras y completas. Para que una definición sea buena y clara, debe incluir todas las condiciones necesarias y suficientes. En otras palabras, el argumento será válido si se cumple esa condición, ni más ni menos.

De lo contrario, el argumento será inválido si y solo si, en alguna interpretación, las premisas (razones) son verdaderas y la conclusión no lo es.

Sin embargo, esto es filosofía, y aquí comienzan a surgir preguntas que complican la idea tradicional de validez. Normalmente, pensamos en verdad y falsedad como dos opciones claras y opuestas: algo es verdadero o es falso. Pero, ¿es suficiente limitarse a estas dos posibilidades? Tal vez necesitamos considerar más opciones para entender mejor la totalidad de posibilidades a las que hace referencia la definición de validez. Por ejemplo, podríamos pensar que hay oraciones que son verdaderas y falsas al mismo tiempo, o incluso que hay oraciones que no son ni verdaderas ni falsas. Por otro lado, también podría surgir otra pregunta: ¿ser verdadero es lo mismo que no ser falso? Los lógicos clásicos responderán que sí, y también que lo falso es lo mismo que lo no verdadero. No obstante, esto no es necesariamente el caso cuando trabajamos con más interpretaciones.

Por último, debemos poner atención a los conectores “si..., entonces” y “si y solo si” que usamos para definir la validez. Esto es importante porque hoy en día existen distintas formas de entender los condicionales, y según cómo los interpretemos, cambia la manera en que entendemos la relación entre las premisas y la conclusión, y por tanto, qué significa que un argumento sea válido. Y si tenemos distintas maneras de entender qué hace válido a un argumento, entonces también tendremos distintas lógicas.

¿CUÁNTAS LÓGICAS HAY?

En su *Crítica de la razón pura*, Kant sostuvo que la lógica había alcanzado una trayectoria segura desde los tiempos de Aristóteles. Según él, la lógica no había tenido que retroceder ni tampoco parecía posible que avanzara, ya que parecía estar completa y concluida. Sin embargo, Kant estaba equivocado. Algunos años después, la revolución de la lógica en los siglos XIX y XX, liderada por figuras como Frege, Boole y Russell, transformó este panorama al dar lugar a lo que hoy conocemos como Lógica Clásica. Algunos lógicos consideran que este desarrollo

representó un avance en la investigación lógica, ya que permitió identificar como inválidos ciertos argumentos que, bajo la teoría aristotélica, se habían considerado válidos. Los grandes avances de la matemática parecen motivar a estos lógicos a considerar esto. No obstante, otros lógicos lo ven como un retroceso, pues argumentos válidos bajo la teoría aristotélica resultan inválidos en la Lógica Clásica.

Paralelamente al surgimiento de la Lógica Clásica, comenzaron a surgir disputas acerca de cuál debía ser la teoría lógica correcta.

De estas disputas se consolidaron dos grandes familias de lógicas alternativas a la Lógica Clásica:

1. Lógicas subclásicas, en donde se rechaza la validez de algunos argumentos aceptados (como válidos) en la Lógica Clásica.
2. Lógicas contraclásicas, en donde se acepta la validez de algunos argumentos rechazados (como inválidos) en la Lógica Clásica.

De estas familias de lógicas no clásicas, actualmente puedo afirmar, sin temor a equivocarme, que existe una infinidad de ellas. Hay lógicas que buscan recuperar exactamente los argumentos válidos de la teoría aristotélica, lógicas en las que las contradicciones no son problemáticas, otras que permiten trabajar con información incompleta, e incluso lógicas en las que todos los argumentos son válidos, así como otras en las que ningún argumento lo es. La mayoría de estas lógicas no se trabajan en las clases de prepa e, incluso, lastimosamente, muchas veces tampoco en algunos planteles de educación superior. Pero, ¿qué hace que una lógica sea una lógica? La respuesta radica en su capacidad para ofrecer, de manera formal, una respuesta a la pregunta de qué se sigue de qué en cada lógica.

Es decir, en poder reconocer qué argumentos pueden considerarse válidos y cuáles inválidos (en esa lógica). Esto implica que no nos vamos a encontrar con argumentos ambiguos en los que no podamos determinar con precisión su validez o invalidez. De hecho, con la matemática adecuada, un poco de ingenio y términos formales, incluso tú podrías crear tu propia lógica. Esa lógica, claro está, podría resultar trivial, en el sentido de que todo sea válido. Por ello, una vez creada, sería necesario evaluar si



© Rafael Pareja. De la serie *Bajo la lluvia*, 2015.

dicha lógica es filosóficamente interesante o útil, por ejemplo, para fines matemáticos. Si bien existen criterios para determinar si una lógica es interesante desde un punto de vista filosófico o matemático, casi cualquier lógica podría resultar filosóficamente fructífera, incluso aquellas que he denominado triviales. Aunque reconozco que esta no es la postura predominante en el área, ya que algunos consideran deseables algunas propiedades como la consistencia o la no trivialidad.

¿CUÁNTAS LÓGICAS CORRECTAS HAY?

Para no definir la corrección de una lógica en el aire, debemos comprender que usualmente se denomina



que una lógica es correcta para un dominio. Aplicar una lógica **L** a un dominio **D** significa tomar una (o varias) teoría(s) que tenemos sobre **D** (por ejemplo, cómo funciona un sistema, un conjunto de objetos o un fenómeno) y expresarlas en un “lenguaje formal”. Este lenguaje no tiene significado por sí mismo, sino que está formado por símbolos básicos (primitivos) y reglas claramente definidas para combinarlos. Estas teorías incluyen algunas verdades básicas (cosas que sabemos que son ciertas en **D**) y también algunas falsedades básicas (cosas que sabemos que no son ciertas en **D**). Con base en esto, podemos acercarnos a entender qué significa que una lógica sea correcta. Una lógica **L** es correcta para un dominio **D** si y solo si, al aplicar sus argumentos, se capturan las verdades básicas de **D** y no se derivan falsedades básicas de **D**.

Ahora bien, hay varias posturas filosóficas que responden a la pregunta ¿cuántas lógicas correctas hay? Esbozaré algunas:

- Monismo lógico: existe solo una lógica correcta.
- Pluralismo lógico: existe más de una lógica correcta.
- Nihilismo lógico: ninguna lógica es correcta.

La posición monista ha sido ampliamente defendida en la literatura de la lógica. Usualmente se considera que la Lógica Clásica es la única lógica

correcta. Si ignoramos que probablemente es la única lógica que muchos conocen, podemos tomarnos esto en serio. Lo que puede significar que la Lógica Clásica sea la correcta es que sus argumentos son válidos en todos los dominios. A pesar de ser la posición dominante, otros filósofos han sido más osados y han propuesto a algunas lógicas no clásicas como las únicas lógicas correctas.

Graham Priest ha sido un fuerte crítico del pluralismo lógico y ha dado pistas de una defensa de la tesis monista, argumentando que la lógica correcta debe ser aquella en la que las contradicciones no resultan problemáticas. Estas lógicas, conocidas comúnmente como lógicas paraconsistentes, permiten que, ante la presencia de una contradicción, no se derive cualquier conclusión (a diferencia de lo que ocurre en la Lógica Clásica). Este tipo de lógicas resulta especialmente interesante porque posibilita trabajar (de manera no trivial) con contradicciones. Es decir, en dominios donde la información es contradictoria, no es necesario elegir entre una opción u otra, sino que ambas pueden ser correctas simultáneamente. En este marco, las contradicciones pueden llegar a ser verdaderas.

Otros autores, como J. C. Beall, han defendido la tesis monista, proponiendo que la lógica correcta es una lógica paranormal (ver más en Beall 2018). Sé que lo primero que nos viene a la mente son lógicas



© Rafael Pareja. De la serie *Bajo la lluvia*, 2015.

fantasmales o algo por el estilo. Sin embargo, estas lógicas no solo son paraconsistentes (como en la propuesta de Priest), sino también paracompletas. Esto significa que permiten trabajar con información que, en otros contextos, se consideraría incompleta. En la Lógica Clásica, por ejemplo, la verdad y la falsedad son colectivamente exhaustivas y mutuamente excluyentes. Si digo que “todos los lectores son humanos o no son humanos”, esta afirmación siempre será verdadera para un lógico clásico. No obstante, para un defensor de una lógica paracompleta, esto no necesariamente es así. Dicha afirmación podría no ser ni verdadera ni falsa, existiendo en un estado intermedio, algo así como un limbo entre la verdad y la falsedad. Este espacio intermedio es, quizás, lo más “fantasmagórico” que encontrarán en estas lógicas. Beall ha presentado argumentos para sostener que, si consideramos todas las evaluaciones posibles (más allá de la dicotomía tradicional de verdadero o falso), llegaremos inevitablemente a una lógica paranormal, es decir, paraconsistente y paracompleta.

Por otro lado, autores como J. C. Beall (sí, el mismo que ya mencioné) y Greg Restall (2005) popularizaron el pluralismo lógico. Los defensores de esta tesis sostienen que existe más de una lógica correcta. Por ejemplo, la Lógica Clásica es perfecta para dominios consistentes (sin contradicciones) y

completos (donde no existen esos “limbos”). Según los pluralistas, el error del monista radica en pensar que solo hay una lógica correcta, sin considerar la diversidad de dominios posibles. Las lógicas paraconsistentes, por su parte, serían ideales para dominios inconsistentes. Así, si aceptamos que existen tanto dominios consistentes como inconsistentes, entonces debemos admitir que hay más de una lógica correcta. Cabe destacar que aquí el concepto de “correcta” cambió ligeramente: antes se asumía que una lógica era correcta para todos los dominios, mientras que ahora se afirma que existen al menos dos lógicas correctas, cada una adecuada para dominios diferentes. Sin embargo, si existe un dominio (el inconsistente) en el que la Lógica Clásica no es la “reina gobernadora”, entonces la tesis del monismo lógico (clásico) resulta falsa.

Este cambio en el concepto de dominio no ha resultado muy esclarecedor en el debate. De hecho, ha llevado a la aparición de diversas definiciones de pluralismo y monismo. Veamos algunas opciones: existe una versión del monismo que sostiene que hay una única lógica correcta para un dominio específico, y también una versión del pluralismo que afirma que hay más de una lógica correcta para un mismo dominio.



© Rafael Pareja. De la serie *Bajo la lluvia*, 2015.

Sin embargo, esto deja de ser problemático ya que, bajo estas definiciones, uno podría ser monista y pluralista al mismo tiempo. Para ello, bastaría con que exista un dominio en el que haya al menos dos lógicas correctas y otro dominio en el que solo haya una lógica correcta.

Finalmente, este cambio en el concepto de dominio no es adoptado por los nihilistas. Los nihilistas sostienen que ninguna lógica es correcta para todos los dominios. En otras palabras, toman en serio la posición monista solo para desacreditarla. Su argumento, a grandes rasgos, consiste en probar que no hay ningún argumento que sea válido en todos los dominios posibles. Si tomáramos todos los dominios y evaluáramos qué argumento es común a todos ellos,

la respuesta sería que ninguno. Ningún argumento sería válido universalmente. Y si ningún argumento es válido en todos los dominios, entonces no hay una lógica correcta que se aplique a todos ellos.

Esta postura también podría entenderse de otro modo: que sí existe una lógica correcta, pero es una lógica vacía, es decir, una lógica sin argumentos válidos. Si le preguntaras a un defensor de esta lógica si tu argumento es válido, sin importar cuál sea, siempre te dirá que no lo es. Podrán notar que esta es una mezcla extraña de monista y nihilista lógico. Si bien ninguna lógica es correcta para todos los dominios, la lógica vacía sí puede serlo en un sentido muy específico, pues su novedad reside en la ausencia total de argumentos válidos. Claramente el estudio de las lógicas vacías es un caso extremo dentro del estudio de la lógica. Con la posibilidad de que existan lógicas vacías, surge la pregunta: ¿por qué una lógica vacía debería considerarse legítima? La respuesta a esta cuestión aún está en debate. Hasta ahora, solo existen bosquejos iniciales sobre qué es realmente una lógica vacía y si puede ser considerada una lógica en sentido estricto. Para profundizar en esta cuestión, pueden consultarse los trabajos de Pailos (2021) y Romero Rodríguez (2024).

MÁS PREGUNTAS QUE RESPUESTAS

El estado actual del debate es incierto. En los últimos cinco años, A. C. Paseau y Owen Griffiths (2022), y Erik Stei (2023) han defendido la tesis monista. Los primeros argumentan que la lógica correcta es una lógica infinitaria, basándose en la idea de que la lógica debería recuperar el lenguaje natural. Según ellos, dado que el lenguaje natural es infinitario, la lógica correcta también debería serlo. Sin embargo, no está del todo claro qué se entiende por “lenguaje natural” ni por qué la lógica correcta debería necesariamente representarlo. Por otro lado, para el público no especializado no es nada claro cómo se puede trabajar con infinitas premisas, lo que podría representar una limitación para el alcance de la propuesta. Ahora bien, esta dificultad no constituye una razón suficiente para descartar la lógica infinitaria. Más bien, evidencia la necesidad de ampliar nuestra comprensión

de ciertos marcos formales si queremos entender qué podría significar que una lógica sea realmente la correcta. Esta ampliación conceptual podría ser clave para abordar mejor los desafíos formales.

Uno de los argumentos más recientes en contra del pluralismo lógico es que este se autorrefuta. ¿Qué significa esto? En términos generales, el pluralismo lógico sostiene que existen varias lógicas correctas. Pero entonces surge una pregunta crucial: ¿con qué lógica deberíamos evaluar esa misma afirmación? Es decir, si alguien defiende que hay múltiples lógicas correctas, para justificar esa afirmación necesitará usar alguna lógica concreta. Sin embargo, al hacer eso, parece estar dando un estatus especial a una lógica sobre las demás, lo cual podría entrar en conflicto con la postura pluralista. Autores como Priest (2001), Read (2006), Keefe (2014), Griffiths y Paseau (2022), y Stei (2023) han explorado esta línea de pensamiento, sugiriendo que el pluralismo lógico enfrenta dificultades insuperables al intentar justificar su propia posición sin caer en diversos problemas.

En este debate, pueden identificarse al menos tres problemas principales al defender o criticar estas tesis: (i) no hay claridad sobre si una lógica puede ser correcta solo dentro de un dominio específico, o si, por el contrario, debe ser correcta en todos los dominios. Esta falta de precisión complica los términos del debate; (ii) al tratar de definir cómo una lógica puede ser correcta para un dominio, parece que se excluye automáticamente la posibilidad de que más de una lógica sea correcta en ese mismo dominio. Es decir, el propio intento de precisar la corrección lógica en un ámbito dado puede terminar reforzando una visión monista, en lugar de permitir un verdadero pluralismo; y (iii) si se consideran los requisitos que debe cumplir un lenguaje formal para ser adecuado a un dominio, resulta difícil que florezca un pluralismo lógico. Estos requisitos suelen favorecer una lógica particular sobre otras, lo que dificulta sostener que varias lógicas puedan ser igualmente adecuadas.

Estos tres problemas muestran que defender una forma de pluralismo lógico no es tarea sencilla. Cada uno revela tensiones importantes en torno a lo que entendemos por corrección lógica y su vínculo con los dominios de aplicación.

Por eso, se ha gastado mucha tinta y, como suele ocurrir en toda investigación fructífera, ahora se tienen más preguntas que respuestas. Al final, aún no se cuenta con una respuesta definitiva a la pregunta: ¿cuántas lógicas correctas hay? Responder a esta cuestión implica aclarar la postura frente a muchos supuestos que, a lo largo de la historia de la filosofía, se han dado por sentados.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Manuel Tapia Navarro y a Luis Estrada González por las conversaciones sobre pluralismo lógico. Este trabajo fue apoyado por el proyecto SECIHTI CBF2023-2024-55 “Desafíos actuales al pluralismo lógico” y el proyecto PAPIIT IN406225.

R E F E R E N C I A S

- Beall JC (2018). The simple argument for subclassical. *Philosophical Issues* 28:30-54. DOI: <https://doi.org/10.1111/phils.12133>.
- Beall JC and Restall G (2005). *Logical Pluralism*. Oxford, GB: Oxford University Press.
- Keefe R (2014). What logical pluralism cannot be. *Synthese* 191 (7):1375-1390. <https://doi.org/10.1007/s11229-013-0333-x>.
- Pailos, F. Empty Logics. *Journal of Philosophical Logic* 51, 1387-1415 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10992-021-09622-8>.
- Paseau AC and Griffiths O (2022). *One true logic: A monist manifesto*. Oxford University Press.
- Priest G (2001). Logic: one or many? En Brown B and Woods J (Eds.), *Logical consequence: Rival approaches. Proceedings of the 1999 Conference of the Society of Exact Philosophy* (pp. 23-28). Hermes.
- Romero Rodríguez, C. (2024). *A philosophical study of empty logics* (Tesis doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México) http://132.248.9.195/ptd2024/jul_sep/0858877/Index.html.
- Stei E (2023). *Logical pluralism and logical consequence*. Cambridge University Press.
- Read S. (2006). Monism: The One True Logic. En: Devidi D and Kenyon T. (eds), *A logical Approach to Philosophy. The Western Ontario Series in Philosophy of Science*, vol 69. Springer, Dordrecht. DOI: https://doi.org/10.1007/1-4020-4054-7_10.

Christian Romero Rodríguez
Instituto de Investigaciones Filosóficas
Universidad Nacional Autónoma de México
christian.romero@outlook.com



© **Rafael Pareja**. De la serie *Bajo la lluvia*, 2015.

Thomas Kuhn y la relación ciencia, tecnología y sociedad

Arturo **Santos Raga**

El propósito de este trabajo es elucidar algunas de las aportaciones de Thomas Kuhn en su influyente obra *La estructura de las revoluciones científicas*, que han allanado el camino hacia una mejor comprensión de la ciencia y su interacción con la sociedad, y que todavía hoy en día proporcionan directrices fundamentales para establecer y mantener una relación fructífera y equilibrada entre la ciencia, la tecnología y la sociedad.

Una de las numerosas ideas que Kuhn difundió (si bien no todas ellas fueron originales de él, las articuló en cambio en uno de los modelos científicos más influyentes y provocadores del siglo XX), es que la ciencia es realizada por personas concretas que se organizan en comunidades científicas. Estas comunidades se distinguen por compartir un paradigma, probablemente el concepto kuhniano más conocido, lo que significa que los miembros del grupo comparten una constelación de compromisos, prácticas, normas y supuestos, así como maneras de actuar, valores específicos e intereses compartidos.

KUHN Y LAS COMUNIDADES CIENTÍFICAS

En el marco de la teoría de Thomas Kuhn no se puede hablar de una única “comunidad científica” homogénea. En lugar de eso, Kuhn describe una estructura de comunidades científicas que se organizan en varios niveles de

especialización. En el nivel más general, se encuentra la “comunidad de todos los científicos naturales” (2004, p. 296), que abarca a todos los investigadores que se dedican a las ciencias empíricas y naturales, independientemente de su disciplina específica. A un nivel más detallado, las ciencias se dividen en grandes disciplinas como la física, la química, la astronomía y la biología, cada una con sus propias áreas de enfoque y metodologías específicas. Dentro de estas disciplinas amplias, existen subespecializaciones que profundizan aún más en áreas concretas. Por ejemplo, en física, hay ramas como la física de estado sólido, la física de materia condensada y la física de altas energías, que se centran en aspectos específicos de la materia y la energía. De manera similar, en biología, se encuentran campos especializados como la biotecnología, la biología evolutiva, la biología molecular, la genética y la ecología, cada uno aborda distintos aspectos de los organismos vivos y sus interacciones. Así, el concepto kuhniano de “comunidad científica” abarca una jerarquía de grupos interrelacionados, cada uno con sus propios enfoques y objetivos de investigación. Estas comunidades están conectadas por un interés común en la ciencia, pero cada una opera dentro de su propio marco especializado y aborda problemas específicos de acuerdo con su enfoque particular.

Es fundamental subrayar que Kuhn enfatizó de manera significativa la importancia de la estructura comunitaria en la ciencia, particularmente en el contexto de la ciencia que él analizó a mediados del siglo XX. Esta estructura comunitaria se revela como una condición esencial para el desarrollo del conocimiento científico. Por esta razón, la ciencia debe ser entendida como un fenómeno eminentemente social en dos aspectos: en primer lugar, por su propia estructura comunitaria, y en segundo lugar, por su desarrollo intrínsecamente vinculado a la sociedad en la que estas comunidades científicas se insertan y operan. En las últimas seis décadas, los vínculos recíprocos entre la ciencia y la sociedad, así como la interdependencia entre ambos, han aumentado de manera exponencial.

Este crecimiento reflejó una integración cada vez más compleja y profunda en la que el desarrollo científico y las dinámicas sociales se influyen mutuamente, manifestando una interacción dinámica entre ambos dominios.

¿Qué implicaciones tiene la visión de la ciencia que Kuhn presentó hace seis décadas? Entre las diversas consecuencias de su propuesta, Kuhn destaca que

[...] casi todos los científicos asumen una filiación comunitaria, y dan por supuesto que la responsabilidad de llevar a cabo las tareas que corresponden a las diferentes especialidades de la disciplina se distribuyen entre grupos cuya membresía está más o menos determinada. (2004, p. 294).

Asimismo, las comunidades científicas están constituidas por individuos que han completado una formación profesional y han sido sometidos a un proceso educativo compartido.

Los miembros de una comunidad científica se ven a sí mismos y son vistos por los demás como las únicas personas responsables de la prosecución de un conjunto de metas compartidas, incluyendo entre ellas la formación de sus sucesores. Entre dichos grupos la comunicación es relativamente plena y los juicios profesionales, relativamente unánimes. (2004, p. 295).

KUHN Y LA ENSEÑANZA DE LA CIENCIA Y SU COMUNICACIÓN

La formación de los futuros científicos en cada disciplina es, por consiguiente, un componente esencial del ejercicio científico. El análisis filosófico de la ciencia debe, por ende, considerar los métodos y procesos de enseñanza y aprendizaje en las ciencias. Esto implica examinar los aspectos epistemológicos, que se refieren a las condiciones y criterios que determinan cómo las comunidades científicas generan conocimiento, al igual que los aspectos metodológicos que componen el conjunto de procedimientos

que los miembros de una comunidad emplean para tomar decisiones, especialmente cuando se trata de aceptar o rechazar hipótesis y teorías.

En el fragmento citado, Kuhn también alude al proceso de comunicación entre expertos, donde los expertos son los miembros de una cierta comunidad. Según Kuhn, en este contexto homogéneo, la comunicación tiende a ser fluida y eficaz debido a la existencia de un marco compartido de elementos que facilita la comprensión mutua casi completa. No obstante, cuando se intenta la comunicación entre diferentes comunidades científicas, surgen dificultades significativas. Esto debido a que cada comunidad opera bajo un conjunto distinto de supuestos, lo que puede generar barreras en la comprensión mutua y en la transmisión efectiva de conocimientos entre los distintos grupos. Y las dificultades se vuelven significativamente más agudas cuando se trata de la comunicación y difusión social de la ciencia, es decir, de la comunicación y difusión entre las comunidades científicas y el público “no experto”, considerados legos.

El problema de la comunicación es considerablemente más grave doce lustros después. Richard Lewontin, uno de los biólogos, genetistas y evolucionistas más influyentes y respetados a escala mundial, abordó esta cuestión en un artículo publicado en la prestigiosa revista *New York Review of Books*. En este texto, Lewontin decía:

[...] nadie puede negar mi capacidad de comprender los problemas científicos involucrados en la ingeniería genética de granos, pero soy incompetente para decidir si Edward Teller o sus opositores entre los físicos, tenían la razón acerca de las posibilidades de construir un dispositivo de rayos láser que estaba destinado a ser el centro del sistema de defensa de misiles de la Guerra de las Galaxias. (Lewontin, 2002, párr. 1).

Lewontin se encuentra en una situación similar a la de cualquier ciudadano al enfrentarse a las cuestiones científicas de gran relevancia en el mundo actual. Este es uno de los mayores desafíos que

enfrenta la ciencia, y que debe abordar con urgencia la sociedad que la cultiva. En nuestra sociedad, donde la generación y el consumo del conocimiento científico han llegado a constituirse en elementos fundamentales y decisivos que influyen en todos los planos de la vida, pero donde también se busca mantener un sistema democrático social y político, surge una pregunta crítica:

[...] ¿Cómo puede funcionar el Estado democrático si los ciudadanos dependen del conocimiento experto disponible solo para una pequeña élite, una élite que en su formación y en sus intereses económicos directos representa solo a un sector muy estrecho de la sociedad? (Lewontin, 2002, párr. 2).

Para expresarlo de manera contundente, como lo hace Lewontin:

[...] ¿Por qué la inmigrante salvadoreña que limpia mi oficina creería que ella y el profesor-investigador de Harvard tienen suficientes intereses y una visión del mundo en común como para confiar en mi opinión sobre si su magro salario por hora debería ser gravado para apoyar el Proyecto Genoma Humano? (Lewontin, 2002, párr. 2).

En México no podemos ignorar este problema debido a que somos una sociedad con altos niveles de pobreza y una de las desigualdades en la distribución de la riqueza más alarmantes a nivel mundial. Podríamos plantearnos una pregunta similar: ¿por qué el campesino pobre de Oaxaca, el indígena que migra a la Ciudad de México, el empresario acaudalado o quien escribe estas líneas, deberíamos estar de acuerdo en que nuestros impuestos, o al menos una parte de ellos, se destinen a financiar laboratorios de investigación biotecnológica?

Cuando Kuhn publicó *La estructura de las revoluciones científicas* ya se empezaba a vislumbrar esta tendencia, aunque en realidad se ha venido



© Rafael Pareja. De la serie *Pescadores*, 2012.

intensificado desde la Segunda Guerra Mundial. Hoy en día resulta imposible negar que el conocimiento científico y sus aplicaciones ejercen una profunda influencia en todos los ámbitos de la vida social. Esta influencia es tan omnipresente que incluso un campesino en un rincón remoto de la sierra de Oaxaca, sin tener plena conciencia de ello, podría estar cultivando maíz transgénico, un producto directo de los avances en biotecnología. Incluso las sociedades más desfavorecidas, tanto en términos económicos como en la creación de conocimiento científico y tecnológico, como es el caso de México, no escapan al impacto de la ciencia y la tecnología desarrolladas a nivel global. Sin embargo, al generar muy poco conocimiento por nuestros propios medios, enfrentamos la desventaja de una creciente dependencia, no solo económica, sino también cultural, de las grandes potencias científicas y tecnológicas del mundo que lideran estos avances.

Cabe señalar que la investigación y el desarrollo de la ciencia y la tecnología hoy requieren de grandes recursos económicos. En un país como el nuestro, donde el capital privado ha mostrado una resistencia persistente a invertir de manera productiva en la creación de conocimiento y en la innovación tecnológica, el Estado ha asumido en gran medida el peso del impulso a estos sectores, ¿Cómo debería decidirse en qué áreas y proyectos se deben invertir

los recursos? ¿Quién debería tener la autoridad para tomar esta decisión? ¿Debería recaer en el poder ejecutivo, en la comunidad científica o en el Congreso de la Unión? Y si así fuera, ¿cuáles científicos deberían participar en los procesos de toma de decisión? En tal caso, ¿qué criterios guiarían estas decisiones? ¿Debería el Congreso tomar estas decisiones en consulta directa con la comunidad científica? Y si se opta por consultar a los científicos, ¿debería incluirse a todos los miembros de la comunidad científica, o solo a sus representantes? En este último caso, ¿quiénes deberían ser considerados como representantes legítimos?: ¿aquellos que son elegidos directamente por la comunidad científica, como ocurre en las academias, o los funcionarios de las instituciones científicas, que con frecuencia son nombrados por personas que no pertenecen al ámbito científico y académico? ¿Y qué papel debería desempeñar el ciudadano común, que en última instancia es quien aporta los fondos a través de su trabajo? ¿No tendría derecho a tener voz en el proceso? Algunos sostendrían que no, argumentando que el ciudadano carece del conocimiento especializado necesario para determinar en qué áreas de investigación es más conveniente invertir o cuáles son las prioridades en ciencia y tecnología. Sin embargo, esto plantea una cuestión más profunda sobre el carácter de nuestra democracia: ¿podemos verdaderamente considerar que vivimos en una sociedad democrática si al ciudadano se le limita a ejercer su derecho al voto cada tres o seis años y luego se le excluye de participar en las decisiones que afectan de manera directa su vida cotidiana y el destino de los recursos que él mismo aporta?

Uno de los grandes dilemas que enfrentan las sociedades contemporáneas en su búsqueda por consolidarse como democracias plenas es la creciente brecha entre la voluntad popular y la complejidad que han alcanzado la ciencia y la tecnología.

En principio, en una sociedad democrática, se espera que el Estado y sus gobernantes actúen en respuesta a los intereses y demandas de la ciudadanía. Sin embargo, a medida que la ciencia y la tecnología han avanzado, han alcanzado un nivel de sofisticación que las hace cada vez más inaccesibles

no solo para el ciudadano común, sino también para muchos especialistas fuera del campo particular de estudio. Thomas Kuhn, en su obra sobre las revoluciones científicas, ya señaló cómo las comunidades científicas desarrollan paradigmas que organizan no solo su forma de pensar, sino también sus métodos y decisiones. Esta dinámica ha llevado a una creciente fragmentación del conocimiento, donde los científicos, al igual que los ciudadanos, enfrentan dificultades para comprender disciplinas ajenas a su especialización.

La ciencia moderna, al dividirse en áreas cada vez más estrechas y específicas, genera una barrera que no solo limita el acceso de la sociedad al entendimiento de sus contenidos, sino que, paradójicamente, restringe también la capacidad de otros científicos para abarcar áreas que no corresponden a su campo de estudio.

Es importante destacar que los ciudadanos no solo esperan, sino que exigen, que los científicos posean un conocimiento genuino y especializado en sus respectivos campos, sustentado en una comprensión objetiva de la realidad que provenga de métodos rigurosos y racionales. Thomas Kuhn hizo una contribución fundamental al reorientar el estudio de la ciencia en el camino correcto: las comunidades científicas tienden progresivamente hacia una mayor especialización y se caracterizan por compartir una constelación de elementos comunes, no solo los conocimientos acumulados en sus disciplinas, sino también un conjunto de valores e intereses compartidos. Esto ha llevado a la comprensión de que la objetividad, la toma de decisiones racionales y el avance del conocimiento científico son mucho más complejos de lo que previamente se asumía. En este sentido, una de las grandes aportaciones de Kuhn ha sido iluminar esta complejidad.

KUHN Y LOS CONCEPTOS DE RACIONALIDAD, OBJETIVIDAD Y PREDICTIBILIDAD

Thomas Kuhn nunca afirmó que el hecho de que la ciencia esté impregnada de valores y de intereses, incluidos los económicos que a menudo influyen en los científicos—como ocurre particularmente hoy



© Rafael Pareja. De la serie *Pescadores*, 2012.

en día en campos como la biotecnología y la farmacología—signifique que los resultados de la ciencia no sean racionales ni objetivos. Más bien, lo que Kuhn destacó es que tanto la racionalidad como la objetividad en la ciencia son el producto de procesos profundamente complejos.

Kuhn no desestimó en absoluto la relevancia de las predicciones ni la capacidad de manipular fenómenos como elementos fundamentales en el proceso de toma de decisiones racionales acerca de la aceptación o el rechazo de hipótesis y teorías científicas. Reconocía que estos factores tienen un peso epistémico importante dentro del método científico.

Kuhn sostuvo que la observación en la ciencia está influenciada por el conocimiento acumulado y las creencias previamente aceptadas. Y, de manera más amplia, esta observación está determinada en gran medida por el paradigma en el que el científico está inmerso. En este punto, Kuhn sigue las ideas de Norwood Russell Hanson.

La predicción de fenómenos, para poder ser evaluada como correcta o incorrecta, depende de la observación. Pero esa observación está filtrada por el paradigma desde el cual el científico percibe el mundo. Un ejemplo claro, como sugería Hanson, es el de un astrónomo geocentrista y uno heliocentrista observando juntos un atardecer desde una playa que mira hacia el poniente.

Aunque ambos observan exactamente el mismo fenómeno físico –el sol descendiendo en el horizonte– sus interpretaciones serán radicalmente diferentes.

El astrónomo que sigue el modelo geocéntrico, convencido de que la Tierra permanece inmóvil mientras el Sol gira a su alrededor, anticipará que en unas horas este se ocultará detrás del horizonte, y agregará que este suceso se repetirá al día siguiente, y todos los días posteriores.

En contraste, el astrónomo partidario del heliocentrismo, que sostiene que es la Tierra la que gira en torno a un sol fijo, explicará el mismo fenómeno desde una óptica distinta. Afirmará que, debido a la rotación de la Tierra, en unas horas seremos arrastrados por este movimiento hasta que el Sol desaparezca de nuestro campo de visión, un evento que se repetirá día tras día y de forma continua.

Ambas predicciones resultarían acertadas desde la perspectiva de cada teoría, lo que demuestra que este tipo de observaciones y predicciones no son suficientes para resolver la controversia entre las concepciones geocéntricas y heliocéntricas. Incluso si ambos reconocieran que están hablando de realidades diferentes, logran adoptar un vocabulario común y coincidieran en afirmaciones como “en unas horas se hará de noche”, la predicción se cumpliría, y ambos estarían de acuerdo, pero este acuerdo no sería útil para determinar quién tiene razón.

Para que los dos astrónomos logran ponerse de acuerdo sobre el tipo de predicción capaz de resolver su disputa, y coincidieran en una misma descripción del fenómeno, sería necesario que al menos uno de ellos modificara su paradigma de manera significativa. Este es, a mi parecer, el punto central de la teoría de Kuhn. Sin embargo, en ciertos periodos, históricos, estos cambios en los paradigmas no ocurren, lo que genera serias dificultades para la comunicación entre quienes trabajan bajo marcos conceptuales distintos. Las diferencias en sus concepciones del mundo crean barreras significativas, y el diálogo se ve constantemente obstaculizado por la incompreensión mutua, lo que perpetúa los malentendidos y los tropiezos en la interacción científica.



© Rafael Pareja. De la serie *Pescadores*, 2012.

El asunto no radica en que Kuhn desestimara la relevancia de las predicciones o de la interacción con la realidad para la modificación de nuestras creencias. En realidad, nunca cuestionó que las diversas disciplinas científicas proporcionan un conocimiento genuino de la realidad, un conocimiento que permite intervenir de manera efectiva en ella mediante la formulación de predicciones acertadas y la manipulación de fenómenos de diversas índoles.

No obstante, Kuhn enfatizó que este proceso se desarrolla en un contexto de gran complejidad, donde cada paradigma establece las pautas sobre lo que constituye una observación válida. Aún más, destacó que lo que los miembros de una comunidad científica consideran como observaciones pertinentes en un campo específico, está profundamente influenciado por el paradigma que orienta su trabajo.

KUHN Y LA PARTICIPACIÓN CIUDADANA EN LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

¿Cómo podemos siquiera comenzar a abordar el dilema que las complejísimas ciencias y tecnologías modernas imponen a las sociedades democráticas? A mi juicio, es necesario una mayor participación pública en la reflexión sobre la naturaleza de la ciencia y la tecnología, su impacto e importancia en la

sociedad, en efecto, a ser capaces de asimilar esa información en el enriquecimiento de la propia vida, formar juicios independientes sobre asuntos controvertidos relacionados con la ciencia, ser conscientes de los interrogatorios éticos y desafíos ambientales que plantean las nuevas fronteras de la ciencia y la tecnología. Es conocimiento no solo de las potencialidades de la ciencia sino también de sus incertidumbres, de sus riesgos y de los interrogantes éticos que plantea.

Además, deben reconocer que las comunidades científicas se articulan en torno a conjuntos de valores, de creencias, de intereses, de técnicas, de prácticas y de métodos racionales de decisión, que también a menudo pueden dar lugar a confrontaciones irracionales tanto dentro de estas comunidades como entre ellas. Todo esto es algo que Kuhn ya vislumbró hace más de seis décadas.

Pero también es fundamental que el ciudadano comprenda que esas son las condiciones que hacen posible la generación del conocimiento científico. A lo largo del tiempo, las disciplinas han desarrollado procedimientos rigurosos y sistemáticos para aceptar o rechazar creencias que conducen a formular predicciones precisas y a la capacidad de intervenir de manera efectiva en la naturaleza y la sociedad, aunque a veces esas creencias puedan ser comunicadas al público de forma tergiversada, especialmente

cuando intereses económicos poderosos interfieren en la transmisión de la información. Un ejemplo reciente de esta problemática es el debate global en torno al impacto del maíz transgénico en México, que en los últimos años ha sido distorsionado por esos intereses.

KUHN Y LA FORMACIÓN DE NUEVOS CIENTÍFICOS, TECNÓLOGOS Y MEDIADORES

Pero para que estas ideas puedan ser transmitidas de manera efectiva y comprensible al ciudadano común, a los gobernantes y legisladores, es indispensable contar con un equipo diverso y altamente capacitado. Este equipo debe incluir expertos en la enseñanza de las ciencias, comunicadores y gestores en ciencia y tecnología que tengan una perspectiva sólida de la ciencia y sus complejas interacciones con la sociedad.

En síntesis, a más de doce lustros de la publicación de la *Estructura de las revoluciones científicas*, la mejor forma de valorar el trabajo de Thomas Kuhn es reconociendo que la ciencia se origina y se desarrolla a través de un entramado de interacciones entre diversos contextos. En primer lugar, está el contexto de la investigación y la innovación, donde es fundamental llevar a cabo análisis epistemológicos y metodológicos rigurosos. En segundo lugar, los contextos de comunicación son igualmente vitales, y abarcan no solo el intercambio entre pares dentro de una misma disciplina, sino también el diálogo entre científicos de diferentes comunidades, así como la comunicación hacia y desde el público en general. Además, es crucial considerar los contextos de evaluación y gestión, que se dividen en evaluaciones internas y externas.

La evaluación interna es realizada por los expertos de la comunidad científica, quienes analizan y validan los avances en sus respectivos campos.

En contraste, la evaluación externa no solo corresponde a gestores y especialistas en políticas científicas, sino también abarca la participación activa de la sociedad en su conjunto.

© **Rafael Pareja**. De la serie *Pescadores*, 2012.



Ante la complejidad inherente al fenómeno científico y tecnológico, se puede llegar a la conclusión de que en México es imperativo formar a un número significativo de científicos y tecnólogos que sean plenamente conscientes de la responsabilidad social que conlleva su trabajo y del impacto cultural y social que sus productos pueden generar. Asimismo, es necesario reconocer que ya no podemos permitirnos posponer la formación de profesores de ciencias, de comunicadores y de expertos en gestión y diseño de políticas científicas de alto nivel. Estos especialistas deben contar con una formación sólida que les permita realizar un análisis crítico de la ciencia y la tecnología. Cabe subrayar que, aunque esta responsabilidad debe ser compartida por toda la sociedad, recae de manera particular en las instituciones de investigación científica y tecnológica, y en las universidades. Estas entidades poseen la mayor capacidad, tanto en términos humanos como materiales, para

llevar a cabo tareas de investigación y de docencia que, además, son financiadas por recursos públicos.

REFERENCIAS

- Kuhn T (2004). *La estructura de las revoluciones científicas*. FCE, México.
- Lewontin R (2002 May 9). *The politics of science*. *New York Review of Books*, 49(8). https://www.nybooks.com/articles/2002/05/09/the-politics-of-science/?lp_txn_id=1608477.
- Stegmuller W (1983). *Estructura y dinámicas de teorías*. Ariel, Barcelona.
- Moulines CU (2015). *Popper y Kuhn. Dos gigantes de la filosofía de la ciencia*. Bonal letra Alcompás, España.
- González Fernández W (2004). *Análisis de Thomas Kuhn: Las revoluciones científicas*. Trotta, Madrid.
- Pérez Ransanz AR (1999). *Kuhn y el cambio científico*. FCE, México.
- Lorenzano P y Nudler O (2012). *El camino desde Kuhn. La inconmensurabilidad hoy*. Biblioteca Nueva, Madrid.

Arturo Santos Raga
Universidad Veracruzana
arsantos@uv.mx



Notas sobre la presencia de Gabriel Marcel en las primeras obras de Luis Villoro

José Luis **Evangelista Ávila**

A manera de introducción y como un primer encuadre sobre este trabajo, recuperaremos una cita de Mario Teodoro Ramírez sobre Luis Villoro, pues nos permite plantear la relevancia de este trabajo. Así, al inicio del artículo “La alteridad indígena: motivo y razón de la filosofía de Luis Villoro”, Ramírez expone:

Dos motivos convergen en los inicios filosóficos, a mediados de los 50 del siglo pasado, del pensador mexicano Luis Villoro (1922-2014): por una parte, su especial sensibilidad ante las condiciones de exclusión y marginación que viven los indígenas mexicanos y, por otra parte, los aportes de la filosofía existencialista, particularmente los referidos al problema de la otredad, tal como se expone en las reflexiones de Gabriel Marcel, Martin Buber o Jean-Paul Sartre, entre otros (ver Villoro, 1962). Estos motivos se mantendrán a lo largo de la extensa trayectoria intelectual de Villoro, que abarcó las más diferentes temáticas y combinó las más diversas perspectivas y corrientes filosóficas (Ramírez, 2018).

En este sentido, consideremos la presencia de Gabriel Marcel en los trabajos de Villoro, pues, de la mano del auge de la propuesta sartreana y cierta invisibilización de la de Marcel, la tendencia y diálogos alrededor del autor de *El ser y la nada* se ha posicionado como el referente habitual

de Villoro en temas relativos a la existencia. No obstante, la proximidad con Marcel resulta más significativa para comprender diversos abordajes. Así pues, ¿cómo se presenta la propuesta de Gabriel Marcel en las primeras obras de Luis Villoro?

I. EL CONTEXTO FILOSÓFICO MEXICANO (1900-1950)

En primera instancia, consideremos el contexto filosófico de Luis Villoro para indicar la proximidad con Gabriel Marcel como parte de su formación filosófica. Luis Villoro, nacido en Barcelona el 3 de noviembre de 1922, hijo del médico catalán Miguel Villoro y de la mexicana María Luisa Toranzo, llegó a México en 1939, esto es, al término de la Guerra Civil Española, tras haber estudiado en el Colegio Saint-Paul, un internado jesuita en Godine, Bélgica. Para 1948 ya era docente en la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Nacional Autónoma de México.

El contexto filosófico de su juventud, matizado por la condición nacional mexicana, pero también heredero de la situación europea, quedaría enmarcado por los debates entre el positivismo y la filosofía de la existencia, así como diversas lecturas marxistas y la filosofía de la cultura mexicana, amén de los cuestionamientos por lo mexicano. A tales, reitero, han de sumarse las notas características de las tensiones mundiales propias de la primera mitad del siglo XX que, a modo de herencia, recayeron sobre quienes vendrían a denominarse como transterrados. Como ejemplo y punto de partida, consideremos a José Gaos.

José Gaos, entre otros aspectos conocido por ser el primer traductor de *Ser y tiempo* al español (en 1951, lo que constituiría la segunda traducción de la obra a nivel mundial, la primera fue la japonesa), también tradujo la obra *El concepto de la angustia* de Kierkegaard (firmada bajo el seudónimo Vigilius Haufniensis), esta última, aparecida en la editorial Espasa-Calpe. Quien ha tenido la oportunidad de conocer este trabajo, puede observar la ausencia de traductor oficial. Este dato no es secundario, ni tampoco accidental. José Gaos no aparece debido

a que, una vez lista la edición, se prohibió la difusión de trabajos firmados por exiliados.

Estos datos son significativos por el contexto que nos revelan. En primera instancia habrá de remitirse a la reflexión sobre la existencia o existencialista. Sin embargo, resulta más importante vislumbrar el ambiente al que responden: una época marcada por la crisis posterior a las dos guerras mundiales, el franquismo español y la búsqueda de una identidad. Además, se generan en un país donde todavía se hacía patente la crisis de una construcción identitaria tras los sucesos revolucionarios y la Guerra Cristera. Ahí es donde se da la formación de Luis Villoro, precisamente, bajo la tutela de José Gaos, de quien será considerado discípulo.

Ante las disrupciones propias de un país cuya identidad se encuentra en formación y la carga mundial imperante, en México se apela a la filosofía de la existencia, así como al posterior existencialismo, pero, en igual medida, a una tradición positivista cuyo lema es también una promesa, “Orden y progreso”, que atraviesan el ambiente. Este último lema, además, se esgrimió en respuesta a la revolución y la separación de un pasado latente que, en nuestro país, se entendería como el intento de desvinculación de la revolución marxista y de la cuestión indígena.

Tras el influjo positivista de finales del siglo XIX y principios del XX (apoyado por Gabino Barreda), se generaron diversos grupos en respuesta, como el Ateneo de la Juventud. Durante la década de 1930, con la llegada de los transterrados, se tomaría distancia de una tradición afrancesada por la inclusión de la filosofía contemporánea alemana. En palabras de Elsa Cecilia Frost: “la muy marcada francofilia (...) señoreó en México hasta muy entrados los años cuarenta” (Frost, 1991). A mediados del siglo XX, el grupo Hiperión, en el que se incluía a Luis Villoro bajo la guía de su maestro José Gaos, adquirió notoriedad debido a la recepción del existencialismo francés y las reflexiones sobre el tema de lo mexicano. No obstante, la mayoría de sus participantes tomarían distancia de estos inicios o, por lo menos, se apartarían del grupo como tal, bien que las influencias formativas siguieran presentes como es el caso de Villoro. Para Guillermo Hurtado:

Los miembros del Hiperión no se conformaban con conocer las raíces más profundas de México, sino que deseaban cambiarlo, sacudirlo, liberarlo. El grupo pretendía no sólo comprender mejor a su objeto de estudio, *i.e.* México y el mexicano, sino efectuar en él transformaciones profundas, definitivas. (Hurtado, s/f).

Es, pues, en este contexto y en sus años formativos que Villoro conoce la propuesta de Gabriel Marcel.

II. GABRIEL MARCEL EN LA TRADICIÓN FILOSÓFICA DEL SIGLO XX

Gabriel Marcel, filósofo y dramaturgo francés nacido en 1889, forma parte de un conjunto de autorías de la primera mitad del siglo pasado que, tras los movimientos de 1968, serían invisibilizadas por cuestiones políticas y sociales; no obstante, su presencia todavía se hace presente para quien sepa interpretarla. El nombre de Gabriel Marcel quizá resuene todavía al ser ubicado dentro de un “existencialismo cristiano”, debido a la popularización de la exposición sartreana en *El existencialismo es un humanismo*. Sin embargo, tanto como sucedió con prácticamente la totalidad de los enunciados existencialistas en dicha obra, incluido el mismo Sartre, Marcel tomaría distancia de tal categorización.

Los movimientos sociales de 1968, en especial los franceses, produjeron una doble vía de exclusión e invisibilización que recayó sobre diversas autorías. La primera, más evidente, desplazó a quienes se consideró, de una u otra forma, conservadores. La segunda, no tan notoria, involucró la exclusión de los espacios “conservadores” a quienes se ubicó dentro de los movimientos de revuelta. Así, sobre Gabriel Marcel recayó ese doble juicio: Signado como existencialista, resultó peligroso para los espacios más conservadores y, bajo la proclama de un “neosocratismo cristiano” o de un “existencialismo cristiano”, resultó demasiado conservador para quienes se asumían libertadores. En cualquier extremo, padeció lo que Pasolini signó como “el fascismo de los antifascistas”: la exclusión por parte de quienes se asumen incluyentes.



© Rafael Pareja. De la serie *Pescadores*. 2016.

De manera general, consideremos cómo la presencia de Marcel en manuales de filosofía de la época es usual, no así en posteriores.

Pese a lo anterior, la significación de Marcel se encuentra presente y puede constatar en diversos espacios. A nivel formativo, aspecto bastante importante, pues no se dedicó a la docencia, Marcel influyó en toda una generación de personajes de la cultura francesa a través de tertulias filosóficas en su hogar, entre ellos destacan el mismo Jean Paul Sartre, Paul Ricoeur, Raymond Aron, Nikolái Berdadiáiev, Gastón Fessard, Jean Wahl, Maurice Nedoncelle, entre otros. Pese a sus reparos, su obra es considerada como la primera de corte existencialista en Francia. Además, en tanto dramaturgo y crítico de teatro, mantuvo relación importante con personalidades de diversos espacios culturales. En Latinoamérica, Marcel aparece en la mayoría de los trabajos dedicados a la historia de la filosofía, filosofía contemporánea y la relativa al existencialismo de la época, a lo que ha de sumarse la pronta y amplia traducción de sus obras por parte de editoriales como Guadarrama, Sudamericana y la Revista de Occidente, todas ellas vanguardia en aquellos años. No obstante, poco a poco y por las razones señaladas, su presencia se reduciría hasta casi desaparecer o permanecer como un satélite dependiente del existencialismo sartreano que, irónicamente, le es deudor.



© Rafael Pareja. De la serie *Pescadores*. 2016.

Sin ahondar en su propuesta, a Marcel le interesa el humano concreto, “de carne y hueso” si seguimos la expresión unamuniana, pero, en relación. Sea en relación consigo mismo, lo cual lo llevó a problematizar la relación con el cuerpo que se es y la conformación de la identidad; así como la relación con aquello con lo cual nos relacionamos, sean las cosas, las actividades que realizamos y, en especial, los otros. Para el autor francés no se trata de epifenómenos o accidentes que se sumen a la conformación de sí, sino de elementos constitutivos de lo más propio, lo cual, en términos contemporáneos (y que parece recuperar Villoro), emparejan la existencia con la ética y la política, a diferencia de los rodeos e infernalizaciones sartreanas del otro que suelen matizar la comprensión del existencialismo y a quienes asocia. Lo anterior se entrelaza en Marcel con su distinción entre el problema y el misterio, así como a lo que podríamos denominar análisis trascendental de la existencia intersubjetiva; esto es, la investigación sobre las condiciones de posibilidad que permiten la intersubjetividad, la fidelidad, la esperanza y la relación, entre otros, a partir de la existencia y los entornos que le son propios a cada abordaje.

Sirvan las notas previas como contexto para considerar algunos puntos de anclaje en los cuales se

concentra su relación con Villoro, por ser significativas para ambos pensadores. No obstante, esto no significa una recuperación acrítica por parte de Villoro, sino puntos de encuentro desde los cuales las limitantes del francés se tornan espacios para la apropiación y resignificación desde el contexto propio que realizaría Villoro.

III. HACIA UN DIÁLOGO ENTRE LAS OBRAS DE MARCEL Y VILLORO

José Manuel Cuéllar Moreno ha indicado que, entre otras presencias, “el existencialismo cristiano de Gabriel Marcel está... en el ADN de Luis Villoro” (Cuéllar, 2024). Esto puede verse desde 1949 cuando Villoro, en un acto autorreflexivo, señaló que

Anima al Grupo Hiperión un proyecto consciente de autoconocimiento que nos proporcione las bases para una posterior transformación propia [...] y es] La filosofía existencial, que se dirige [sic] al ser y ya no al mero acaecer, [la que] proporcionará el instrumental adecuado que justifique la tarea.

En esta cita, perteneciente al artículo “Génesis y proyecto del existencialismo en México”, si bien Villoro no cita a Marcel, la presencia del francés se ubica

en la referencia al ser, más que al acaecer, cuando el denominado existencialismo apelaba al acaecer, al devenir de la existencia. Para entonces, además, Villoro ya había dedicado un año antes el artículo “La reflexión sobre el ser en Gabriel Marcel”, así como unas líneas al mismo en “Soledad y comunión”, también de 1949. Estas notas, aunque iniciales, abren la senda de una presencia imborrable en la reflexión de Villoro.

En 1955 sale a la luz *Posición y aproximaciones concretas al misterio ontológico*, por parte de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), traducción de Luis Villoro del trabajo de Gabriel Marcel. El prólogo de esta publicación concluye con las palabras de Villoro, quien indicó que esta obra “señala un hito decisivo en la trayectoria del existencialismo contemporáneo” (Villoro, 1955) y esto se debe, según declaraba antes, a que “este ensayo reúne claramente, por primera vez, las dos vertientes en que podía haber parecido dividida la filosofía marceliana: la preocupación ontológica y la descripción existencial” (Villoro, 1955), líneas que hacen eco de las citadas como rectoras del grupo Hiperión. Si consideramos estas preocupaciones de Marcel, matizadas por el cariz epistémico y la situación política, respectivamente, parecen encontrar una vía de aplicación en el proceder posterior de Villoro que permitirá pensar el tema de las formas de violencia contra los pueblos originarios... con lo cual nos situaríamos en el punto de convergencia que señalábamos inicialmente con las palabras de Mario Teodoro Ramírez.

La crítica de Villoro al idealismo desencarnado bebe de las fuentes marcelinas, tanto como sus concepciones de comunidad que, por otra parte, se han buscado a partir de la propuesta de Jean-Luc Nancy (Ramírez, 2018) con poca o nula atención a la propuesta de Marcel. Es precisamente debido al posicionamiento sartreano en lo relativo a pensar el existencialismo y la filosofía de la existencia que la propuesta de Marcel sobre el yo encarnado, la intersubjetividad y la relación con el otro han quedado ocultas, dificultando el acceso a este punto de convergencia vital para el nacionalizado mexicano. Las reflexiones, entre la soledad y la comunidad, la construcción de la identidad, la subjetividad como intersubjetividad y la comunidad con el otro

encuentran en Marcel ese punto de cohesión que, sin él, es difícil rastrear al leer a Villoro.

A MANERA DE CIERRE

En tanto una aproximación sucinta sobre la relación entre estos autores, concluyamos haciendo hincapié en que las conceptualizaciones de Marcel permiten clarificar el tránsito entre los dos grandes temas iniciales de Villoro (la exclusión indígena y la existencia), además de plantear la permanencia de los mismos a través de su obra. En este sentido, es necesario replantear la cuestión de la existencia, ya no en la clave sartreana vinculada a la infernalización del otro, sino en clave marcelina; al hacerlo, será posible plantear una fuente de la convergencia entre el análisis antropológico, ético y político en Villoro a partir de las fuentes abordadas por el autor, antes que mediante la inclusión de dialogantes externos que alejan del autor y su formación.

R E F E R E N C I A S

- Cuéllar Moreno JM (2024) El legado vivo de Luis Villoro. Recuperado de: <https://www.milenio.com/cultura/laberinto/luis-villoro-un-legado-vivo>.
- Frost EC (1991). La labor difusora de los transterrados. En Varios Autores, *Cincuenta años de exilio español en México* (pp. 7-14). Embajada de España y Universidad Autónoma de Tlaxcala, México.
- Hurtado G (s/f). El Hiperión y su tiempo. Recuperado de: <https://www.studocu.com/es-mx/document/inue-universidad-y-preparatoria-tijuana-ensenada-mexico/tecnologia-farmaceutica/el-hiperionysutiempo-hurtado-guillermo/101895576>.
- Ramírez MT (2018). La alteridad indígena: Motivo y razón de la filosofía de Luis Villoro. Recuperado de: https://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/eidos/article/view/10571/pdf_401.
- Villoro L (1949). Génesis y proyecto del existencialismo en México. *Filosofía y Letras*. Revista de la Facultad de Filosofía y Letras 36:233-244.
- Villoro L (1955). Prólogo. En Marcel G. *Posición y aproximaciones concretas al misterio ontológico* (pp. 5-7). Universidad Nacional Autónoma de México. México.

José Luis Evangelista Ávila
Facultad de Filosofía y Letras
Universidad Autónoma de Chihuahua
jevangelista@uach.mx



© **Rafael Pareja**. De la serie *Pescadores*. 2016.

Distorsiones perceptivas raras: demonios, cuentos infantiles y cuestiones filosóficas

Fernando **Gordillo León**
Lilia **Mestas Hernández**

La realidad que percibimos se ha construido en nuestro cerebro a partir de un sistema predictivo que anticipa la información que le llega del exterior, basándose en la experiencia acumulada. En este proceso aparecen diferentes dificultades, como el esperado retraso de la percepción consciente, las limitaciones en la forma de experimentar el mundo o la propia inconsistencia de la realidad.

En este artículo profundizaremos en todos estos aspectos y veremos su reflejo en trastornos perceptivos raros, pero claros a la hora de establecer los límites de nuestro conocimiento. Trastornos perceptivos específicos como la prosopometamorfopsia, o más generales como el llamado síndrome de Alicia en el País de las Maravillas, nos permitirán dibujar una realidad vulnerable a las lesiones cerebrales, que abren la puerta a una comprensión más profunda de nuestra realidad, desde una perspectiva científica, pero también filosófica.

PERCEPCIÓN Y REALIDAD

La percepción es una parte fundamental de la conciencia que nos permite construir la realidad tal y como la experimentamos (Carterette y Friedman, 1982).

Está compuesta por dos procesos (Bruner, 1958). En el primero se produce una selección de la información dentro de la gran cantidad de datos que llegan del exterior, con el objetivo de reducir la complejidad y facilitar el almacenamiento y recuperación de la información. En el segundo proceso se intenta predecir acontecimientos futuros para evitar o reducir la incertidumbre. Algo curioso acompaña a nuestra percepción consciente, y es que se retrasa unos milisegundos respecto a la presencia física de los estímulos que son su origen, y todo, sin perder su coherencia. Por lo tanto, podemos entender que discurren dos continuos de información en paralelo, separados por milisegundos. El primero formado por señales desordenadas y sin codificar, que dan cuenta del caos exterior cuando nadie lo observa (*Si un árbol cae en el bosque y nadie puede oírlo, ¿hace algún sonido?*); el segundo, con retraso respecto al anterior, formado por la descodificación que hace nuestro cerebro de dichas señales, dándoles coherencia para crear conciencia del mundo.

Este retraso en la percepción se produce porque se requieren unos milisegundos para que la información que llega a nuestro cerebro a través de los sentidos se procese, analice e integre en un continuo de conciencia. Por poco tiempo que sea necesario para que esto suceda, lo cierto es que cuando tenemos conciencia de lo que vemos, olemos u oímos,

esto ya ha sucedido. Este retraso de la percepción consciente es comparable al que sucede cuando miramos al cielo y vemos las estrellas. En realidad, debido al tiempo que tarda la luz en recorrer el espacio que separa las estrellas de nosotros, cuando las vemos estamos contemplando su pasado remoto, incluso puede que ya no existan en el presente, aun percibiendo su brillo con mucha claridad e intensidad. La forma que tiene nuestro cerebro de salvar este problema es convirtiéndose, como hemos dicho, en un buen predictor capaz de anticipar, por la experiencia, la posición de los objetos de nuestro entorno, que inevitablemente percibimos con retraso. De esta forma podemos entender la precisión con la que los deportistas atrapan objetos que se acercan a ellos a gran velocidad. Si no fuera por esta capacidad predictiva, sería imposible, ya que nuestra conciencia de la posición del objeto siempre irá unos milisegundos por detrás de su posición real.

La capacidad predictiva del cerebro se ha comprobado a través de estudios que utilizan electroencefalogramas (EEG) como técnica de registro de la actividad cerebral. Los mecanismos predictivos de nuestro cerebro permiten activar representaciones neuronales sensoriales de eventos futuros anticipados, antes de la llegada de la información sensorial. De esta forma nuestro sistema visual compensa los retrasos en el procesamiento neuronal, pudiendo interactuar con el entorno en tiempo real (Blom *et al.*, 2020). También se ha estudiado la forma en la que se pueden activar estas predicciones a través de estimulación cerebral, estableciendo un marco de investigación adecuado para entender cómo pueden interrumpirse por determinadas enfermedades o trastornos, y cómo podrían restaurarse mediante métodos no invasivos (Draganov *et al.*, 2023).

Por otro lado, hay que decir que las señales del entorno son reales para nosotros porque se proyectan sobre un potente descodificador, nuestro cerebro, que se comporta como una caja de resonancia donde se interpreta, crea y da forma al mundo que cada uno de nosotros intuimos que es la realidad. Aun con todo, debemos asumir que es nuestra realidad, pero también que es una realidad creada para que se ajuste exactamente a lo que nuestro cerebro puede

© Rafael Pareja. De la serie *Pescadores*, 2012.



procesar, descodificar e interpretar. Esto me lleva a plantear la siguiente pregunta: ¿existen los helados? Me refiero a los trozos de hielo de sabores que se unen a un palo, se congelan y tomamos en los días calurosos. En principio nadie dudaría de esto, pero imaginemos que el molde que da forma al helado es nuestro cerebro. Tenemos un molde que compartimos todos, con unas características determinadas genéticamente; en concreto, nuestro cerebro tiene forma ovalada y capacidad de 1.350 cm³ aproximadamente (Rosales-Reynoso *et al.*, 2018). Con este molde y en las condiciones adecuadas podemos crear “un helado” con una peculiar forma ovalada (cerebro) y un sabor determinado (realidad), que no podría ser de otra forma, ni triangular, ni cuadrado, porque nuestro molde es el que es. En este punto cabe preguntarse si realmente existen los helados como concepto universal, o lo que es lo mismo, si existe la realidad más allá de la proyección que realiza nuestro cerebro de ella. Puede que haya moldes diferentes a los de los humanos que elaboran helados con sabores diferentes –realidades diferentes–, pero lo que es cierto es que esta realidad alternativa a la humana tendría la misma validez para quien la percibe, que la nuestra para nosotros. Por otro lado, aun compartiendo el mismo molde y un sabor característico, cada uno de nuestros helados tiene matices en el sabor, diferentes al resto, que reflejan la amplia variabilidad de nuestras realidades. Esto nos llevará a conocer matices en los sabores que se alejan mucho de la normalidad y que hemos etiquetado como trastornos.

La relatividad del mundo que percibimos podría suponer una limitación, pero lo cierto es que es irrelevante, por cuanto junto al mundo que hemos creado en el proceso de percibirlo, tenemos unas reglas que nos permiten comprenderlo (e.g., el helado está frío, se derrite al sol, tiene diferentes sabores).

Por otra parte, esta cuestión es tan pertinente plantearla desde el enfoque científico como filosófico. Tanto es así que nos atreveríamos a decir, tal y como pensaba un conocido filósofo de la antigua Grecia, que nuestro conocimiento del mundo podría entenderse como un conjunto de sombras proyectadas en la pared de una caverna en la que

estamos encerrados y encadenados desde que nacemos. Esta alegoría (el “mito de la caverna”) fue creada por Platón, dentro de su obra *La república*, y refleja muy bien la idea de que el conocimiento que tenemos del mundo está condicionado por el material y la experiencia que nos permite percibirlo, y que este conocimiento podría estar muy alejado de la realidad.

Sin embargo, es posible que mi helado no sea exactamente igual al de la mayoría de los humanos. Esto supondría que mi realidad se ha construido de manera sutilmente diferente (por ejemplo, en el autismo), aunque también es posible que mi realidad se haya visto distorsionada por un daño ocurrido repentinamente en mi molde para helados (lesión cerebral). Esto es precisamente lo que sucede en algunas distorsiones perceptivas como las que revisaremos a continuación. La primera es una extraña condición derivada de una lesión cerebral que produce que las caras se perciban distorsionadas. La segunda incluye a la primera como parte posible de su sintomatología, y es una condición sin una etiología clara, que provoca distorsiones perceptivas variadas, desde cambios en la localización de objetos, a cambios en el tamaño y forma de diferentes partes del cuerpo, entre otros, y que ha sido denominada el síndrome de Alicia en el País de las Maravillas. Empecemos...

© Rafael Pareja. De la serie *Pescadores*, 2012.



¿Cómo te afectaría ver los rostros de los demás con una apariencia demoniaca? Se han documentado menos de 100 casos de personas que sufren estas distorsiones perceptivas (Blom *et al.*, 2021a). Podemos encontrar uno de los primeros casos documentados en un estudio realizado por Bodamer (1947) (véase Ellis y Florence, 1990), donde se presentaba la historia clínica de dos pacientes que tenían dificultades para reconocer rostros, pero no mostraban percepciones distorsionadas.

Por otro lado, un tercer paciente mostraba el patrón contrario; es decir, no tenía dificultades para reconocer rostros, pero sí manifestaba percepciones distorsionadas de las caras. Estos datos hicieron pensar que los procesos de reconocimiento de rostros y la percepción consciente de los mismos estaban diferenciados.

Las dificultades para reconocer rostros (prosopagnosia) se habían documentado ya en el siglo XIX (ver, por ejemplo, Charcot, 1883), pero no se utilizó el término de prosopagnosia hasta que fue acuñado por Bodamer (1947). Por otro lado, la denominación de prosopometamorfopsia (PMO) fue establecida por Critchley (1953) como una distorsión visual específica de los rostros. Considerado uno de los 40 tipos de distorsiones visuales (metamorfopsias) característicos del denominado síndrome de Alicia en el País de las Maravillas, que abarca todas las distorsiones perceptivas en general (Blom, 2016). Incluso, se ha especulado con la posibilidad de que pintores como Pablo Picasso (Ferrari y Haan, 2000) y Francis Bacon (Safran *et al.*, 2014) pudieran haber padecido prosopometamorfopsia, porque en muchas de sus pinturas aparecen rostros distorsionados.

Las distorsiones perceptuales de los rostros es un raro trastorno que tiene su origen en lesiones cerebrales. Aunque todavía no está claro qué estructuras están implicadas, sí parece que una región denominada esplenio, situada posteriormente al cuerpo calloso, estaría relacionada con la mayoría de los casos de hemiprosopometamorfopsia (Hemi-PMO),

que es una variante de la PMO (bilateral) donde solo está afectada por la distorsión una mitad de la cara. Este trastorno perceptivo se asocia con un daño cerebral, y los pacientes perciben un lado de la cara distorsionado, con rasgos desproporcionados, caídos o hinchados (Almeida *et al.*, 2020; Funatsu *et al.*, 2017). Por otro lado, las distorsiones faciales bilaterales se relacionan con lesiones occipitales bilaterales y del lado derecho, y las unilaterales con lesiones ipsilaterales al hemisferio distorsionado, incluyendo el esplenio del cuerpo calloso (Blom *et al.*, 2021b).

Además, hay que tener en cuenta que en algunos casos no se detectan anomalías cerebrales que pudieran justificar la distorsión perceptiva, y en otros los enfermos informan de una disminución de sus distorsiones perceptivas, que incluso llegan a desaparecer con el tiempo tras tomar la medicación (Herald *et al.*, 2023).

Pero más allá de los estudios que analizan el origen neurológico de este trastorno, y de las dudas que aún quedan por resolver, también es necesario entender cuál es el impacto de este tipo de trastornos sobre la identificación de los rostros y el reconocimiento de las emociones (Cui y Bex, 2022), en especial por la influencia que esto podría tener sobre las interacciones sociales, el bienestar subjetivo y las emociones experimentadas por las personas que lo sufren. Precisamente en este punto es donde hay un mayor vacío en la literatura científica, derivado del pequeño número de personas que lo padecen. En la mayoría de los estudios de caso se profundiza en los déficits perceptivos y su relación con las estructuras dañadas (ver, por ejemplo, Lee, 2015), pero no se mencionan las repercusiones emocionales que tiene sobre el paciente. A este respecto, algunos estudios han analizado la relación entre las experiencias perceptuales anómalas y variables afectivas en población general. Para este fin se utilizó la Escala de Percepciones Anómalas de Cardiff (CAPS), y se encontró una relación moderada y directa en población no clínica con ansiedad, depresión y preocupación, siendo esta asociación más fuerte en pacientes psicóticos (Bell *et al.*, 2011).

Estos resultados se podrían extrapolar a la población que sufre PMO y otros trastornos perceptivos. Cuando percibimos la distorsión en el cuerpo de los demás, en este caso la cara, aunque sepamos que tiene un origen neurológico, igualmente podría tener un efecto negativo sobre las emociones de la persona que sufre esta patología, entre otras cosas porque podría generar tendencias de evitación, aislamiento, soledad, si bien este punto no ha sido comprobado más que a través de los análisis cualitativos realizados en alguno de los estudios de caso documentados.

También debemos tener en cuenta que hay un tipo de PMO, denominado autoprosopometamorfopsia, donde el paciente presenta distorsiones perceptivas de su propia cara cuando se mira al espejo (Blom *et al.*, 2021a). En cualquier caso, percibir una distorsión en la cara de los demás, en la propia, o en ambas, podría influir sobre el estado afectivo de la persona que lo sufre.

UN CUENTO INFANTIL: ALICIA EN EL PAÍS DE LAS MARAVILLAS

El síndrome de Alicia en el País de las Maravillas (AIWS, por sus siglas en inglés), puede incluir como parte de su sintomatología distorsiones perceptivas de los rostros, pero se caracteriza además por una discordancia visual y perceptiva compleja (Hernández, 2023).

Se producen episodios transitorios que incluyen alucinaciones y percepciones distorsionadas, principalmente de la imagen corporal, sin alteración de la conciencia. La sensación manifestada por los pacientes es que diferentes partes de su cuerpo están cambiando.

Además, pueden presentar distorsión del tiempo, junto a alucinaciones, cambios en la percepción de distancias y del tamaño y la posición de objetos; alteraciones en la percepción auditiva y táctil, despersonalización (desconexión de propio cuerpo), desrealización (desconexión de la realidad), dualidad somatopsíquica (sensación de tener dos cuerpos), sensación de levitación y, en algunos casos, sensaciones emocionales de miedo, incluso terror.

Estos episodios pueden presentarse con frecuencia variables o evolucionar a la cronicidad (Saito y Takagi, 2023). Teniendo en cuenta 84 casos documentados de este síndrome, se observó que el 61 % tenía distorsiones multimodales que incluían la modalidad visual en el 49 %, la kinestésica en el 18 %, y la auditiva en el 14 % de los casos (Blom *et al.*, 2021b). Este trastorno es más frecuente en jóvenes, especialmente en niños, con una evolución benigna que lleva a la recuperación completa en semanas o meses (Losada-Del Pozo *et al.*, 2011). En algunos estudios de caso se ha establecido que el origen podría ser vírico (por ejemplo, el virus de Epstein-Barr), con factores de riesgo como los antecedentes de migraña de los progenitores.

También el uso de algunos fármacos como metilfenidato podría afectar a la duración del padecimiento (Romero *et al.*, 2013) o el topiramato (O'Toole y Modestino, 2017). Además, estudios de neuroimagen muestran que algunas regiones cerebrales están involucradas en la manifestación de los síntomas, como la unión temporoparietal y el lóbulo occipital (O'Toole y Modestino, 2017).

CONCLUSIONES: ENTRE LA CIENCIA Y LA FILOSOFÍA

Existen diversos mecanismos de fitorremediación, entre los que destacan los siguientes:

Todavía se conoce poco sobre la etiología de estos trastornos. Sin embargo, sí parece claro que derivan de un funcionamiento desajustado de regiones concretas de nuestro cerebro, que provoca cambios en la forma de ver la realidad de las personas que los padecen. Esto nos debería hacer reflexionar sobre la fragilidad y temporalidad de nuestra realidad, y hasta qué punto lo que estamos viviendo es un sueño (y los sueños, sueños son, como diría Calderón de la Barca). Si queremos ir un poco más allá, podemos pensar que estos errores en la interpretación del entorno evidencian que nuestra realidad es una simulación, como cuando nuestro videojuego se bloquea y parpadea por breves instantes. Si queremos entenderlo así podríamos recurrir a



© Rafael Pareja. De la serie *Pescadores*, 2012.

la inquietante teoría de la simulación, propuesta por el filósofo Nick Bostrom (2003), que nos plantea una duda razonable sobre si el mundo que percibimos, nuestra realidad, podría ser una simulación derivada del desarrollo tecnológico humano.

Si tuvieras la tecnología necesaria para simular de manera realista la vida de nuestros antepasados, ¿lo harías? Si tu respuesta es sí, es posible que muchos hayan contestado como tú y, por lo tanto, igualmente es posible que, de haberse desarrollado dicha tecnología, se hayan construido millones de realidades que simulan nuestro pasado. En este punto, ¿qué es más probable, que estemos en el camino de ser la civilización que construirá estas realidades simuladas, o ser ya parte de los millones de simulaciones que pueden haberse creado?

REFERENCIAS

Almeida J, Freixo A, Tábuas-Pereira M *et al.* (2020). Face-Specific perceptual distortions reveal a view- and orientation-independent face template. *Current Biology* 30:4071-4077.

Bell V, Halligan PW, Pugh K and Freeman D (2011). Correlates of perceptual distortions in clinical and non-clinical populations using the Cardiff Anomalous Perceptions Scale (CAPS): Associations with anxiety and depression and a re-validation using a representative population sample. *Psychiatry Research* 189:451-457.

Blom JD (2016). Alice in Wonderland syndrome: A systematic review. *Neurology Clinical Practice* 6:259-270.

Blom JD, Nanuashvili N and Waters F (2021b). Time Distortions: A Systematic Review of Cases Characteristic of Alice in Wonderland Syndrome. *Frontiers in Psychiatry* 12:668633.

Blom JD, ter Meulen BC, Dool J and ffytche DH (2021a). A century of prosopometamorphopsia studies. *Cortex* 139:298e308.

Blom T, Feuerriegel D, Johnson P and Hogendoorn H (2020) Predictions drive neural representations of visual events ahead of incoming sensory information. *Biological Science* 117:7510-7515.

Bostrom N (2003). Are you living in a computer simulation? *Philosophical Quarterly* 53:243-255.

Bruner JS (1958). Social Psychology and perception. In Maccoby EE, New Comb TM and Harley EL (eds.) *Readings in Social Psychology*. New York: Holt Rimerhart and Winston.

Carterette E y Friedman M (1982). *Manual de percepción. Raíces históricas y filosóficas*. Editorial Trillas, México.

Charcot JM (1883). *Lectures on the localisation of cerebral and spinal diseases*. New Sydenham Society, London.

Critchley M (1953). *The parietal lobes*. Edward Arnold & Co, London.



© **Rafael Pareja**. De la serie *Pescadores*, 2012.

Cui B and Bex PJ (2022). The affects of distorsions. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* 63:2566.

Draganov M, Galiano-Landeira J, Camsari DD *et al.*, (2023). Noninvasive modulation of predictive coding in humans: causal evidence for frequency-specific temporal dynamics. *Cerebral Cortex* 33:8421-8430.

Ellis HD and Florence M (1990). Bodamer's (1947) paper on prosopagnosia. *Cognitive Neuropsychology* 7:81-105.

Ferrari MD and Haan J (2000). Migraine aura, illusory vertical splitting, and Picasso. *Cephalalgia* 20:686.

Funatsu N, Hayakawa M, Tokuda N and Toyoda K (2017). Transient prosopometamorphopsia restricted to the left eye caused by ischemia at the right splenium of the corpus callosum. *Internal Medicine* 56:2933-2935.

Herald SB, Almeida J and Duchaine B (2023). Face distortions in prosopometamorphopsia provide new insights into the organization of face perception. *Neuropsychologia* 182:108517.

Hernández J (2023). The perplexing mental health comorbidity of Alice in Wonderland Syndrome (AIWS): A Case Study. *Psychiatry International* 4:30-34.

Lee CM (2015). Splenial Corpus Callosum Infarction Presenting with Unilateral Prosopometamorphopsia: A Case Report. *Dementia and Neurocognitive Disorders* 14:94-97.

Losada-Del Pozo R, Cantarín-Extremera V, García-Peñas JJ *et al.* (2011). Characteristics and evolution of patients with Alice in Wonderland syndrome. *Revista de Neurología* 53:641-8.

O'Toole P and Modestino EJ (2017). Alice in Wonderland Syndrome: A real life version of Lewis Carroll's novel. *Brain & Development* 39:470-474.

Romero R, Calvo A, Naenen K y Ruiz MJ (2013). Síndrome de Alicia en el País de las Maravillas. A propósito de un caso. *Revista de Psiquiatría Infanto-Juvenil* 30:40-43.

Rosales-Reynoso MA, Juárez-Vázquez CI y Barros-Núñez P. (2018). Evolución y genómica del cerebro humano. *Neurología* 33:254-265.

Safran AB, Sanda N and Sahel JA. (2014). A neurological disorder presumably underlies painter Francis Bacon distorted world perception. *Frontiers in Human Neuroscience* 8:581.

Saito G and Takagi G. (2023). Multisensory perceptual distortion including auditory distortions in Alice in Wonderland syndrome: a case report. *Neurocase* 29:46-49.

Fernando Gordillo León
Facultad de Psicología
Universidad de Salamanca, España
fgordilloleon@usal.es

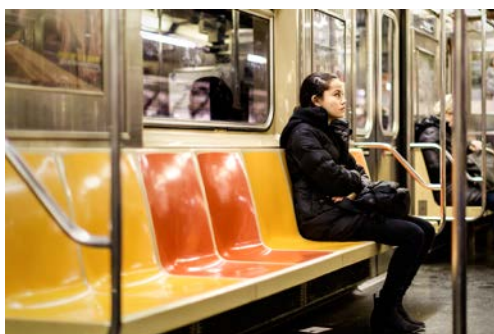
Lilia Mestas Hernández
Facultad de Estudios Superiores Zaragoza
Universidad Nacional Autónoma de México



© **Rafael Pareja**. De la serie *Pescadores*, 2012.

Mi historia con la fotografía

Rafael Pareja



© Rafael Pareja. De la serie *Metro New York*, 2013.



© Rafael Pareja. De la serie *Metro New York*, 2013.

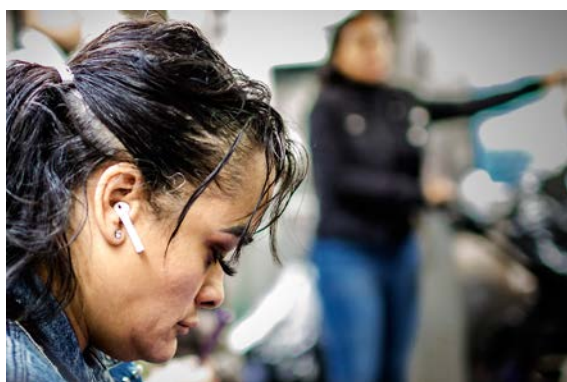
Ya desde pequeño sentía algo por la fotografía. Recuerdo aquellos sábados en familia, en los que se desempolvaba una pantalla o un proyector para ver diapositivas, o se sacaban del armario los antiguos álbumes para observar las fotos impresas. Para mí, que entonces tenía unos 8 años, era algo absolutamente emocionante. Cada imagen me trasladaba a momentos únicos, irrepetibles. Sin embargo, durante mi primera juventud, las circunstancias de la vida me hicieron abandonar por largo tiempo la fotografía. Pero el interés seguía ahí.

Con el paso de los años comencé a hacer pequeños viajes. En ese entonces me tenía que conformar con ver las fotos que hacían los demás. Era frustrante, pero como no tenía cámara propia ni dinero para comprarla, no había de otra. Solo de vez en cuando algún familiar o amigo me dejaba, por algún tiempo, una cámara compacta. Era entonces que podía hacer alguna fotografía fugaz.

En 1994 encontré una cámara en el armario de mi hermano Pedro. Le pregunté si podía usarla y él, que era mucho mayor que yo y que tenía una mejor, sencillamente me la regaló. Era una mítica Yashica de origen japonés, modelo *Minister-D*. Enfocar con ella era complicado, por lo que pretender hacer una foto rápida era casi imposible, así que cometí muchos errores de novato. Incluso, no colocarle bien el carrete y, como consecuencia, no hacer ninguna foto (iqué desgracia!). Sin embargo, aún recuerdo el maravilloso *click* del obturador y el sonido de la palanca para mover el carrete.



© Rafael Pareja. De la serie *Metro New York*, 2013.



© Rafael Pareja. De la serie *Metro New York*, 2023.



Pasados mis primeros veintes, ya en la universidad, por fin compré mi primera cámara. Una Canon. Esto ya era otro nivel. Mis primeras tomas fueron de paisajes naturales y urbanos. Por ese entonces buscaba que nadie apareciera en mis fotos; cosas de mi ignorancia fotográfica.

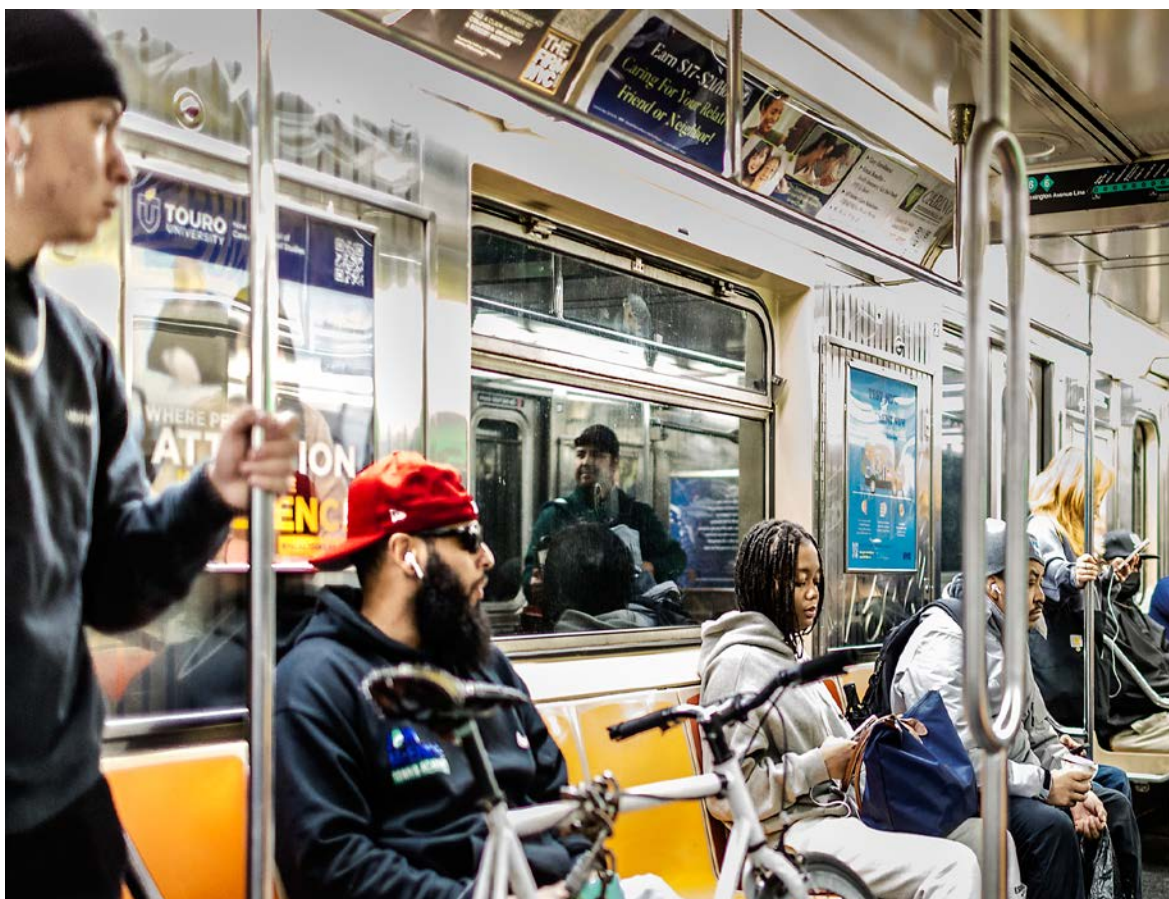
Poco después empecé a leer y a estudiar los aspectos técnicos de la fotografía y fue ahí que comprendí lo que era trabajar con prioridad de diafragma y de velocidad, y trabajar en manual. Aprendí lo que era la profundidad de campo o cómo, con el objetivo de lograr una mayor gama tonal para fotografías en blanco y negro, era mejor usar carretes de 400 ASA sobreexpuestos. Además, empecé a mirar las fotografías de grandes autores.

También empecé a apreciar los detalles y comencé a hacer fotos en las que no buscaba una imagen general, sino más cerrada.

En ese entonces, mi prima “Pipo” –María José, en realidad–, influyó en mí de manera decisiva. Ella es artista plástica, básicamente pintora y, de una forma u otra, me enseñó a observar de una manera completamente distinta el arte y la fotografía, y a desarrollar esa sutil forma de mirar propia del artista (o del fotógrafo).

Y entonces, llegó la era digital. Y aunque en principio me resistí a la nueva tecnología, tuve que aceptar que llegó para quedarse.

Así que me vi forzado a cambiar y, por consiguiente, a invertir en un nuevo equipo de fotografía. Fue entonces que me decidí hacer las cosas con más seriedad y a tomar un curso de fotografía



© Rafael Pareja. De la serie *Metro New York*, 2023.

profesional, otro de revelado y uno más de iluminación, todos ellos, en el Centro Internacional de Fotografía y Cine, mejor conocido como EFTI, en Madrid, mi ciudad natal.

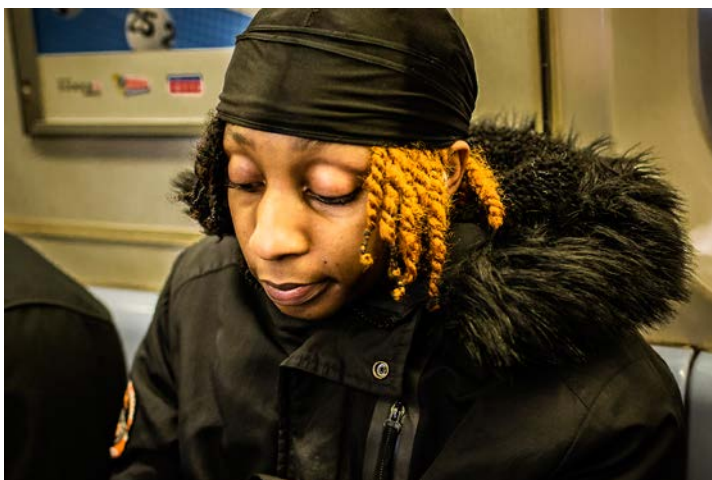
En EFTI tuve la gran fortuna de contar con profesores que en ese tiempo eran realmente los grandes fotógrafos profesionales de España.

Ellos me transmitieron no solo sus conocimientos sino, sobre todo, su pasión. Ellos aumentaron de manera decisiva mi gusto por la fotografía. Me mostraron los grandes fotógrafos de todos los tiempos; me enseñaron lo especial de un retrato bien hecho; la maravilla de la imagen fotográfica con referencias humanas; cómo utilizar las líneas para seguir una imagen; cómo mejorar mis composiciones; cómo previsualizar la imagen al momento de la toma y muchas cosas más.

También aprendí que, a veces, menos es más; que, en fotografía, el tamaño y el detalle importan; que la mirada del fotógrafo es única; que, lo más importante no es hacer fotografías “bonitas”, sino conseguir que la imagen no deje indiferente al espectador. Y que, por sobre todas las cosas, hay que hacer fotos y mostrarlas.

En lo referente a este último aspecto, algunas de mis fotos han sido publicadas en la revista *Voces of México*, editada por la Universidad Nacional Autónoma de México.

Ese mismo afán es lo que me mueve a mostrar hoy, en *Elementos*, una pequeña parte de mi trabajo, con la ilusión de que alguna imagen, no os deje del todo indiferentes.



© Rafael Pareja. De la serie *Metro New York*, 2023.



© Rafael Pareja. De la serie *Metro New York*, 2023.

Bacterias: aliadas en la ecología y la biorremediación

Luis Ramón **Benítez-Colio**
Carmen Cristina **Osuna-Martínez**

A lo largo del tiempo, las bacterias han sido objeto de debate respecto a si son dañinas (patógenas) o si, por el contrario, proporcionan beneficios y desempeñan un papel imprescindible en los sistemas ecológicos. Dentro de los ecosistemas, existen diversos mecanismos biológicos, bioquímicos y metabólicos estrechamente relacionados con la presencia de bacterias responsables de llevar a cabo dichos procesos y sostener la vida en nuestro planeta (Montaño-Arias *et al.*, 2010).

Uno de los principales retos actuales es encontrar soluciones o alternativas para mitigar el deterioro de los ecosistemas. Comprender el comportamiento de las comunidades bacterianas permitirá aplicar estos conocimientos en estrategias de biorremediación en zonas impactadas por contaminantes.

LOS MICROORGANISMOS EN LOS ECOSISTEMAS

La presencia de microorganismos en el medio ambiente es esencial para mantener la estructura, funcionalidad y beneficios ecológicos. Sin embargo, muchas poblaciones bacterianas han sido afectadas por el cambio climático y las actividades humanas. Las bacterias están presentes incluso en los entornos más inhóspitos del planeta, aunque no siempre sean perceptibles.



© Rafael Pareja. De la serie *Metro New York*, 2023.

Estos microorganismos pueden habitar diversos hábitats y adaptarse a condiciones ambientales extremas, colonizando desde zonas polares hasta ambientes altamente contaminados. Además, pueden establecer relaciones simbióticas con otros organismos y desarrollar mecanismos de defensa que las hacen altamente resistentes (CSIC, 2023).

Los microorganismos se dividen en dos grandes grupos: procariontes (bacterias y arqueas) y eucariontes (hongos, algas y protozoarios). La biología molecular ha revelado la existencia de miles de millones de especies bacterianas, lo que indica que nuestro planeta ha estado poblado por estos organismos desde el origen de la vida. Se ha sugerido que las bacterias presentan una diversidad mucho mayor que los macroorganismos debido a su capacidad de adaptación, historia evolutiva y estrategias de supervivencia (Montaño-Arias *et al.*, 2010).

Otro aspecto clave es su participación en procesos ecológicos fundamentales, como los ciclos biogeoquímicos, indispensables para el mantenimiento

de la vida. Por ello, es crucial comprender las redes funcionales de los microorganismos y su interacción con los ecosistemas.

FUNCIONES DE LAS BACTERIAS EN EL SUELO

Los suelos cumplen funciones esenciales en los ecosistemas, como el almacenamiento de carbono, el soporte para el crecimiento vegetal y el reciclaje de nutrientes. Estos servicios son desempeñados principalmente por microorganismos del suelo, particular las bacterias. Algunos estudios indican que las bacterias representan hasta el 90 % de la biomasa total del suelo, convirtiéndolas en el grupo microbiano dominante. Entre sus funciones destacan: el reciclaje del carbono a partir de materia vegetal, la simbiosis con otros microorganismos y el equilibrio de los ciclos de nutrientes mediante procesos biológicos y bioquímicos. Además, las bacterias pueden promover el desarrollo de otros microorganismos esenciales para la estabilidad del ecosistema y producir sustancias que inhiben el crecimiento de patógenos (Wang *et al.*, 2024).



© Rafael Pareja. De la serie *Metro New York*, 2023.



© Rafael Pareja. De la serie *Metro New York*, 2013.

LA FUNCIÓN DE LAS BACTERIAS EN LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS

La relación entre la presencia de bacterias en el agua y los factores ambientales permite evaluar el estado de salud de los ecosistemas acuáticos. En estos ambientes, las bacterias desempeñan un papel crucial en la degradación de materia orgánica y la autodepuración de los cuerpos de agua.

También son clave en el ciclo de elementos como carbono, nitrógeno, fósforo y azufre, contribuyendo al balance ecológico y energético de los sistemas acuáticos (Zhang *et al.*, 2023).

PATÓGENOS E INDICADORES DE CONTAMINACIÓN

Las bacterias han desarrollado mecanismos de resistencia ante factores ambientales, lo que les permite proliferar incluso en ecosistemas contaminados. Comprender los ciclos de infección y virulencia de bacterias patógenas puede ayudar a mitigar sus efectos en humanos y otros organismos. Las bacterias pueden ingresar a los ecosistemas acuáticos y terrestres debido a actividades humanas, desarrollando resistencia y propagándose a través de aguas superficiales, infiltración y escurrimientos. Se han detectado bacterias patógenas en distintos cuerpos de agua y suelos, lo que representa un riesgo sanitario significativo (Kapetanović *et al.*, 2024).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), alrededor de dos millones de personas consumen agua contaminada con patógenos, causando la muerte

de medio millón de personas por enfermedades gastrointestinales anualmente (WHO, 2023).

PERSPECTIVA ACTUAL DE LA BIORREMEDIACIÓN

Desde la Revolución Industrial, el ser humano ha buscado soluciones para mitigar el impacto ambiental de la contaminación. Una alternativa sostenible es la biorremediación, que emplea bacterias para la eliminación de contaminantes. Las bacterias biomineralizadoras pueden transformar compuestos tóxicos en sustancias asimilables por otros organismos, favoreciendo la descontaminación de suelos y aguas. Su capacidad de colonizar ambientes altamente contaminados y tolerar concentraciones elevadas de polutantes, las convierte en herramientas clave para la recuperación ecológica (Ayilara & Babalola, 2023).

CONCLUSIÓN

Comprender la función e interacciones de las bacterias es esencial para la conservación ambiental y la supervivencia de los seres vivos. Además de participar en el ciclo de nutrientes, estos microorganismos contribuyen a la remediación de ambientes contaminados y compiten con patógenos, favoreciendo la estabilidad ecológica. Es prioritario continuar investigando sobre las relaciones bacteria-ambiente y fomentar el uso de estrategias de biorremediación para enfrentar los problemas ambientales actuales de manera eficiente.



© Rafael Pareja. De la serie *Metro New York*, 2013.

REFERENCIAS

Aylara MS and Babalola OO (2023). Bioremediation of environmental wastes: the role of microorganisms. *Frontiers in Agronomy* 5:01-15.

Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) (2023). Los microorganismos son los grandes olvidados en los modelos de cambio climático. Recuperado de: <https://www.csic.es/es/actualidad-del-csic/los-microorganismos-son-los-grandes-olvidados-en-los-modelos-de-cambio-climatico>.

Kapetanović D, Katouli M and Lušić DV (2024). Microbial communities in changing aquatic environments. *Microorganisms* 12:1-2.

Montaño Arias NM (2010). Los microorganismos: pequeños gigantes. *Elementos* 77:15-23. <https://elementos.buap.mx/directus/storage/uploads//00000002205.pdf>.

Su Y, Gao R, Huang F *et al* (2024). Occurrence, transmission and risks assessment of pathogens in aquatic environments accessible to humans. *Journal of Environmental Management* 354:20331.

Wang X, Chi Y and Song S (2024). Important soil microbiota's effects on plants and soils: a comprehensive 30-year systematic literature review. *Frontiers in Microbiology* 15:1347745.

WHO (World Health Organization) (2023). Drinking-water. World Health Organization. Recuperado de: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>.

Zhang H, Xing D, Wu Y *et al* (2023). Microbial ecology and function of the aquatic systems. *Frontiers in Microbiology* 13:1109221.

Luis Ramón Benítez-Colio
Carmen Cristina Osuna-Martínez
Facultad de Ciencias del Mar
Universidad Autónoma de Sinaloa
luisramonbenitez_posgrado@uas.edu.mx

© Rafael Pareja. De la serie *Metro New York*, 2013.



Precaución: consérvese el agua lejos de los medicamentos

Cinthya Pamela **Del Río Galván**
Roberto Carlos **Hernández León**

Cada cierto tiempo, cuando nuestra salud se ve afectada, es habitual acudir a profesionales de la salud para que nos prescriban un tratamiento farmacológico. Existe una gran variedad de medicamentos, cada uno con propiedades específicas para atender diferentes problemas. Por ejemplo: analgésicos (para aliviar el dolor), antihistamínicos (para reducir síntomas de alergias), antipiréticos (para disminuir la fiebre), antibióticos (para combatir bacterias), antiinflamatorios (para reducir inflamaciones), antiácidos (para neutralizar la acidez estomacal), etcétera... Al ingresar a nuestro organismo, la mayoría de los medicamentos sufren cambios químicos y cumplen su función terapéutica. Sin embargo, una parte de estas sustancias se expulsa sin metabolizar a través de las heces o la orina, y finalmente, se desechan al usar el inodoro.

México es un país donde el 80 % de la población se automedica (EFE, 2024). Aunque esta práctica puede parecer una solución rápida, tiene efectos negativos en la salud y puede llevar al consumo de medicamentos innecesarios. Además, es común que la población deseché medicamentos caducos o sobrantes directamente en el inodoro o lavabo, lo que incrementa su concentración en las aguas residuales. La alternativa adecuada es depositarlos en contenedores especiales disponibles en farmacias u hospitales, donde reciben un manejo que evita la contaminación del agua y el suelo.



© Rafael Pareja. De la serie *Nuestras manos*, 2018.

¿QUÉ SUCEDE CON LAS AGUAS QUE DESECHAMOS EN EL INODORO?

Al accionar la descarga del inodoro, el agua inicia un recorrido por tuberías hasta el alcantarillado municipal, donde se mezcla con aguas de hogares, comercios, instituciones e industrias. A esta mezcla se le denomina aguas residuales. En el mejor de los casos, estas aguas son tratadas en plantas especializadas, donde se eliminan contaminantes como sólidos (restos de alimentos, cenizas, fibras), materia orgánica (heces, orina, sangre), detergentes, jabones y microorganismos patógenos. Las aguas residuales no tratadas se descargan en zonas agrícolas o cuerpos de agua, contaminando estos medios y afectando la vida silvestre y la salud humana.

ADVERTENCIA: ESTE MEDICAMENTO PUEDE CONVERTIRSE EN CONTAMINANTE EMERGENTE

Los tratamientos convencionales de aguas residuales son efectivos para eliminar muchos contaminantes, pero no así los llamados contaminantes emergentes, como microplásticos, plaguicidas, insecticidas y medicamentos. Estos compuestos sintéticos son relevantes por su potencial daño a la salud y los ecosistemas. Las aguas residuales domésticas pueden contener estos contaminantes, especialmente

medicamentos, que evaden los tratamientos convencionales y llegan a cuerpos de agua, zonas de riego o áreas donde se reutiliza el agua tratada. La presencia de medicamentos en aguas residuales ha generado preocupación en autoridades y científicos, ya que su integración al ambiente puede alterar ecosistemas y afectar la salud humana a largo plazo, incluso en bajas concentraciones.

PRECAUCIÓN: POSIBLES EFECTOS ADVERSOS Y CONTRAINDICACIONES

Entre los efectos documentados de los medicamentos en organismos vivos se incluyen alteraciones endócrinas (afectando la producción hormonal), daños al material genético y resistencia bacteriana a antibióticos (Meléndez *et al.*, 2020). Esto último es especialmente preocupante, ya que puede hacer que las infecciones requieran dosis más altas de medicamentos o incluso que no respondan a ningún tratamiento. También se han detectado efectos tóxicos en la salud a corto y largo plazo (Espinosa *et al.*, 2021).

INGREDIENTES: METODOLOGÍAS Y POLÍTICAS PÚBLICAS INSUFICIENTES

Otro desafío es la detección y cuantificación de estos contaminantes, ya que los métodos tradicionales tienen limitaciones para medir concentraciones tan bajas (microgramos o nanogramos por litro). Para dimensionarlo: un microgramo es un millón de veces más pequeño que un grano de azúcar. Actualmente, no existen políticas públicas que establezcan concentraciones máximas permitidas de medicamentos o contaminantes emergentes en aguas residuales. Esta falta de regulación dificulta determinar qué niveles son inocuos o dañinos para la salud y el ambiente.

¿TIENE SOLUCIÓN ESTE PROBLEMA O HACIA DÓNDE VAMOS?

Existen tratamientos alternativos complementarios a los convencionales, como los procesos de oxidación avanzada. Estos utilizan radicales libres para



© **Rafael Pareja**. De la serie *Nuestras manos*, 2018.

modificar la estructura química de los contaminantes, transformándolos en sustancias menos tóxicas.

Algunos ejemplos incluyen:

- Inyección de ozono.
- Radiación ultravioleta.
- Uso de catalizadores químicos.
- Procesos electroquímicos con electrodos (Hübner *et al.*, 2024).

Aunque muchos de estos procesos se han probado solo a escala de laboratorio y pueden ser costosos, algunos –como la ozonización, radiación UV y catálisis– ya se aplican exitosamente a gran escala.

CONCLUSIÓN

La creciente presencia de medicamentos en aguas residuales exige atención urgente para desarrollar tratamientos efectivos y políticas de prevención. México debe avanzar en normas ambientales que establezcan límites claros para estos contaminantes, más allá de la NOM-001-SEMARNAT-2021. Esto es vital para proteger la salud humana y garantizar el desarrollo sostenible de los ecosistemas.

REFERENCIAS

- EFE (2024). Automedicación irresponsable: 80% de los mexicanos se receta medicinas indebidamente. *El Financiero*, 6 de agosto de 2024.
- Espinosa *et al.* (2021). Contaminantes emergentes en el agua: causas y efectos. *Impluvium* 17:1-83.
- Gavrilescu *et al.* (2015). Emerging pollutants in the environment: present and future challenges. *New Biotechnology* 32:147-156.
- Gil *et al.* (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción + Limpia* 7:52-73.
- Hübner *et al.* (2024). Advanced oxidation processes for water and wastewater treatment. *Heliyon* 10:e30402.
- Meléndez *et al.* (2020). Contaminantes emergentes: problemática asociada al uso de antibióticos. *Revista de Salud Ambiental* 20:23-51.
- Urbina *et al.* (2020). Tratamiento de contaminantes emergentes mediante ozonización. *Informador Técnico* 84:249-263.

Cintha Pamela Del Río Galván
Instituto Politécnico Nacional
Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería
Campus Zacatecas

Roberto Carlos Hernández León
Universidad Abierta y a Distancia de México
Ingeniería en Tecnología Ambiental
cdelrio@ipn.mx



© **Rafael Pareja**. De la serie *Nuestras manos*, 2018.

Más que madera: los beneficios socioambientales de los árboles

Marlín **Pérez-Suárez**
Tomás **Martínez-Trinidad**

Un árbol a menudo es percibido simplemente como una fuente de madera o un objeto ornamental en el paisaje; sin embargo, su valor real trasciende estas apreciaciones estéticas. Los árboles son unos auténticos héroes silenciosos que contribuyen de manera determinante al mantenimiento a largo plazo de los ecosistemas. Lo anterior deriva del propio bienestar del árbol y de su correcto funcionamiento. Así, a través de dos de sus funciones vitales, la fotosíntesis y la transpiración, los árboles son capaces de aportarnos bienes y servicios tanto ecológicos, como económicos, sociales y culturales que van más allá del entorno inmediato del árbol y del mismo bosque. Por lo anterior, es imprescindible que conozcamos y seamos conscientes de los procesos biológicos que realizan los árboles, ya que, aunque invisibles a simple vista, son parte importante de nuestra calidad de vida y son indispensables para nuestra sobrevivencia.

GIGANTES SILENCIOSOS

Los árboles, a pesar de provenir de pequeñas semillas, son gigantes silenciosos que habitan nuestro planeta, son mucho más que simples plantas, son estructuras complejas y sofisticadas. Los árboles son organismos tan longevos que pueden vivir siglos o milenios, que crecen con fuerza

desde sus troncos leñosos –gracias a su crecimiento secundario–, extendiendo sus ramas hacia el cielo y cubriéndose de hojas que abrazan la luz del sol. A lo largo de diferentes ecosistemas, los árboles se alzan como guardianes esenciales de la biodiversidad, ofreciendo refugio y alimento a una gran variedad de fauna. Sin embargo, los árboles ofrecen muchos más beneficios, por ejemplo, el de ser reguladores del clima, el de su capacidad para la captación de agua y el de proteger los suelos de la erosión.

Los árboles pertenecen a dos grandes grupos: las gimnospermas, que incluyen coníferas como los pinos y abetos; y las angiospermas, que incluyen a la mayoría de los árboles de hojas anchas, como los encinos. La extraordinaria variedad en tamaños y formas, así como de estructura, permite a los árboles alcanzar diferentes alturas, siendo las secuoyas gigantes, en California (Estados Unidos), los árboles más altos, con hasta 100 metros de altura. También hay árboles pequeños, como los retorcidos bonsáis cultivados en macetas en todo el mundo. Como se puede observar, tan extraordinarios son los árboles que su tamaño y forma dependen de su entorno, y esto es debido a que todas las especies de árboles han pasado por largos procesos de evolución. Esto les ha permitido desarrollar adaptaciones para poder colonizar una amplia gama de ecosistemas, desde selvas tropicales hasta desiertos y tundras. En cada uno de estos ecosistemas, los árboles desempeñan papeles clave, como el ser los principales productores de biomasa y reguladores del ciclo de nutrientes en los ecosistemas.

LA FÁBRICA VERDE Y SU AIRE ACONDICIONADO

La fotosíntesis es una de las funciones básicas para la sobrevivencia y crecimiento de las plantas, y una de las que más beneficios traen a los seres humanos, debido a su relación con el ciclo global del carbono (Mostan, 2024). Dicha relación es esencial para el mantenimiento de la vida en el planeta, la regulación del clima y la composición de la atmósfera de la tierra (Alonso-Blanco *et al.*, 2022).

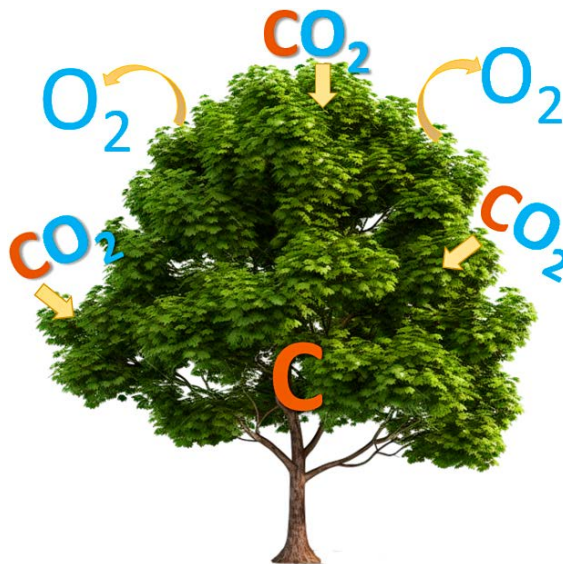


Figura 1. Intercambio de gases en la fotosíntesis de las plantas resaltando el carbono que queda almacenado en la estructura de las plantas.

A través de la fotosíntesis, los árboles capturan dióxido de carbono (CO_2), gas de efecto invernadero (GEI) presente en el aire, y con la ayuda de la luz solar, agua y minerales, lo transforman en glucosa, un carbohidrato simple. Esta última es la fuente de energía. El proceso fotosintético se da en dos etapas, una dependiente de la luz y otra independiente de la luz, que es conocida como ciclo de Calvin.

En la primera las reacciones dependen directamente de la luz solar y es ahí donde la clorofila de los cloroplastos absorbe la luz del sol que energiza los electrones y divide las moléculas de agua en oxígeno, protones y electrones. Es aquí donde el oxígeno es liberado hacia el aire que respiramos (Figura 1); además, se producen ATP (trifosfato de adenosina) y NADPH (nicotinamida adenina dinucleótido fosfato), moléculas esenciales para la siguiente fase.

En el ciclo de Calvin, se utilizan dichas moléculas para convertir el dióxido de carbono (CO_2) en glucosa, un carbohidrato simple que utilizan las plantas como su principal fuente de energía (Mostan, 2024). La glucosa es, además, la materia prima con la que los árboles construyen las distintas partes de su estructura (tallo, ramas, hojas, etc.).

El carbono presente en los carbohidratos se queda almacenado en el tejido vegetal, por lo que los árboles son considerados depósitos naturales de

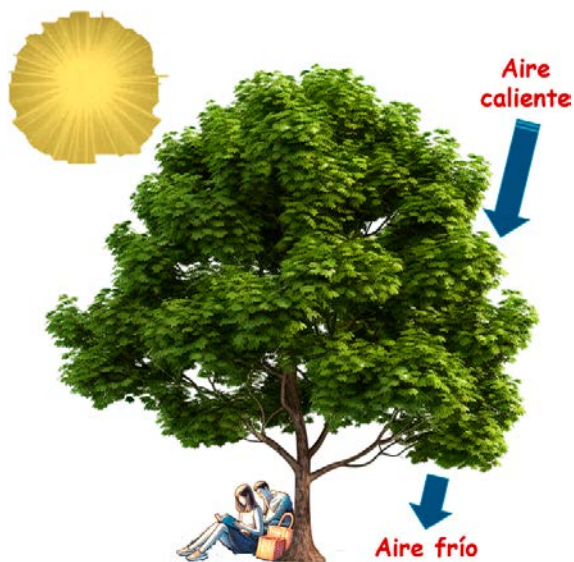


Figura 2. Los árboles brindan protección contra los rayos del sol y las elevadas temperaturas.

carbono o sumideros de carbono. Se estima que los árboles en promedio llegan a capturar (fijar) entre 10 y 40 kilogramos de CO_2 al año, lo cual dependerá de la especie de árbol de que se trate y de su edad, entre otras características (Pompa-García y Rodríguez, 2017), por lo que cada especie contribuye de manera diferente a la lucha que enfrentamos contra el cambio climático al reducir la cantidad de este GEI en la atmósfera. Se sabe que, en promedio, el 46 % de la biomasa de un árbol es carbono; siendo el tronco donde se encuentra la mayor proporción (86 %, Avendaño *et al.*, 2009). Sin embargo, en el mundo se han reportado más de 60,000 especies de árboles (Beech *et al.*, 2017), y cada especie almacena distinta cantidad de carbono en sus tejidos, dependiendo de sus características (altura, cantidad de follaje, diámetro del tronco, edad, etc.) y de su capacidad de capturar carbono. Por ejemplo, en México, especies de bosque tropical caducifolio como *Prosopis levigata* almacenan en promedio 6.4 kg por árbol y *Lysiloma microphyllum* 5.3 kg por árbol; mientras que *Burcera palmeri* almacena 3.0 kg por árbol (Soto-Correa *et al.*, 2019).

El carbono almacenado en el tejido vegetal del árbol permanece hasta que este muere y se descompone. Cuando muere, el tejido es transferido al suelo, formando una capa llamada mantillo.

Esa capa de hojarasca eventualmente se descompondrá dependiendo de la humedad, la temperatura y los organismos que la degraden. Una parte del carbono será transferido al suelo como parte de la materia orgánica, y ahí permanecerá por un periodo de tiempo más prolongado. La capacidad de los árboles de almacenar carbono ayuda a mitigar el cambio climático, ya que reduce la concentración de GEI en la atmósfera, promoviendo la estabilización del clima local y global.

Es importante saber que el CO_2 desempeña dos funciones en la naturaleza; una es la de ser alimento para las plantas, como ya lo describimos, y la otra es la de ser un GEI que mantienen la temperatura de la superficie de la Tierra a un nivel habitable para nuestra especie y otros seres vivos. Gracias a los GEI, la tierra se mantiene a una temperatura promedio de aproximadamente 33°C , de otra manera estaríamos a alrededor de -18°C . De acuerdo con algunos reportes (Kilgore, 2023), se requieren alrededor de siete u ocho árboles para generar la cantidad de oxígeno que requiere un ser humano (aproximadamente 740 kilogramos durante un año).

Sin embargo, para obtener esa cantidad de oxígeno, un ser humano debe respirar alrededor de 9.5 toneladas de aire a lo largo de un año, ya que solo el 23 % de ese aire es oxígeno (2.37 toneladas), y los seres humanos solo extraemos un poco más de un tercio del oxígeno.

El otro proceso vital que los árboles llevan a cabo casi sin que nos demos cuenta es el de la transpiración. Así como los seres humanos transpiramos sudor a través de poros en la piel, los árboles tienen en sus hojas miles de diminutos poros (conocidos como estomas), a través de los cuales los árboles liberan vapor de agua al aire.

Es común decirle evapotranspiración, ya que así se le llama a la suma del agua que transpiran los árboles, más el agua que se evapora de la superficie de sus tejidos (ramas, hojas, etc.) (Winbourne *et al.*, 2020).

Este mecanismo no solo regula la propia temperatura de los árboles, también refresca el ambiente

que los rodea generando un microclima (menores temperaturas y mayor humedad) en torno a los árboles y, particularmente, bajo sus copas (Figura 2).

Los microclimas formados por los árboles son aprovechados por otras especies que requieren de su sombra para sobrevivir. El dosel de un árbol proporciona sombra y reduce la temperatura del suelo, lo que puede beneficiar a las plantas y animales que prefieren condiciones más frescas y húmedas; esto es particularmente importante en áreas secas o semiáridas, y cada vez es más valorado como una herramienta para reducir la temperatura en los entornos urbanos cubiertos por una gran cantidad de concreto y asfalto.

En conjunto, los árboles en un bosque actúan como bombas naturales para mantener el ciclo hidrológico al facilitar las lluvias y garantizar la disponibilidad de agua en el planeta. Por una parte, a través de la transpiración, los árboles liberan parte del vapor de agua que mantiene la humedad de la atmósfera, además de que algunos árboles producen polen y promueven la formación de nubes y por tanto de lluvia.

El polen, en conjunto con otras partículas sólidas –de origen biológico y químico–, proveen la superficie imprescindible para la condensación del vapor de agua que proviene tanto de la transpiración vegetal como de la evaporación de los océanos, ríos y lagos. Una vez que se han acumulado tantas gotas de agua sobre un núcleo de condensación, este se vuelve tan pesado que cae en forma de lluvia (Christner *et al.*, 2008).

Los árboles generan bienestar no solo en los entornos boscosos o naturales. En las ciudades, por ejemplo, las áreas arboladas contribuyen a la reducción del efecto de las islas de calor, áreas con mayores temperaturas, normalmente en el centro de las áreas urbanas, en relación a la temperatura ambiental que se registra conforme nos alejamos del centro de la ciudad hacia las áreas periféricas o rurales.

Lo anterior se ha comprobado porque la temperatura cercana a los parques urbanos es menor que

aquella que se registra conforme nos alejamos de dichos espacios. Esto contribuye, además, al ahorro energético que implica el uso de tecnología como ventiladores y aire acondicionado para mitigar las altas temperaturas.

EL ÁRBOL COMO PILAR DE LA VIDA PASADA Y FUTURA

Los árboles tienen un valor profundo y multifacético en las culturas humanas, trascendiendo lo material para tocar lo espiritual, cultural, social y económico. Su presencia y significado han sido fundamentales a lo largo de la historia y continúan siendo esenciales en la vida cotidiana de las sociedades alrededor del mundo. México no es la excepción.

En nuestro país los árboles han sido fundamentales para las culturas prehispánicas, no solo como fuente de recursos (madera, frutos, entre otros), sino también como símbolos de vida y espiritualidad. Antiguos pueblos prehispánicos, como los mexicas y los mayas, consideraban a los árboles como seres sagrados.

El ahuehuete, por ejemplo, es un árbol que llega a crecer más de 40 metros de altura (Figura 3, izquierda), y era un recurso vital que sostenía a las poblaciones humanas y sus actividades en su entorno mediante la provisión de agua (Figura 3, derecha), por ello fue considerado el árbol nacional de México desde 1921.

Los ahuehuetes también eran venerados como un símbolo de longevidad, ya que llegan a vivir más de 500 años; eran considerados una forma de conexión con los dioses.

Hoy en día, los árboles siguen siendo esenciales para la vida en México, e incluso su valor se ha extendido al ámbito de la sostenibilidad, al ser elementos que contrarrestan la urbanización masiva y mejoran la calidad de vida en áreas densamente pobladas.

Esto último es de gran trascendencia, ya que las zonas urbanas seguirán creciendo en los próximos años, de tal manera que, si miramos hacia el futuro, se hace evidente la necesidad de promover prácticas de reforestación y conservación con énfasis en los árboles.

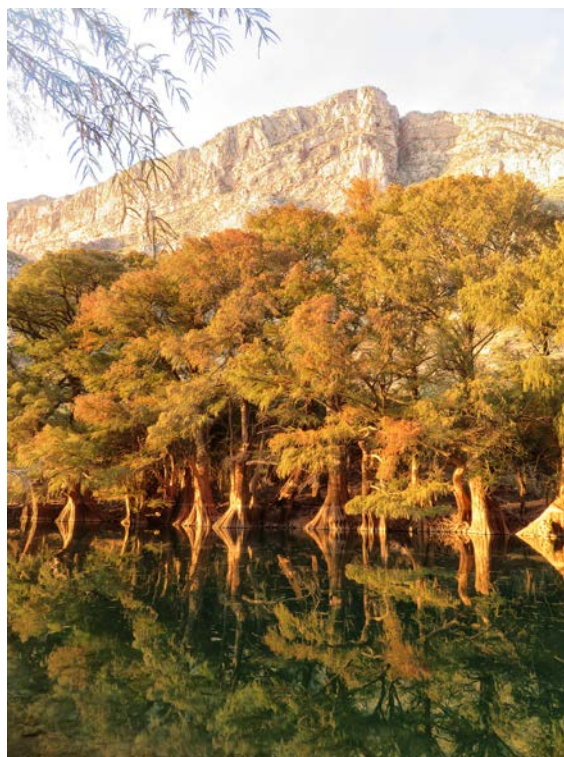


Figura 3. Izquierda: el ahuehuete, el árbol nacional de México desde 1921 (foto: Armando Sunny García Aguilar). Derecha: un paisaje de árboles de ahuehuete y su relación con los cuerpos de agua (foto: Francisca Ofelia Plascencia Escalante).

Esto debe ser fundamentado en la comprensión de que no todos los árboles son iguales, y debemos enfocarnos en árboles que capturen más CO₂ y produzcan más oxígeno, además de proveer una gran cantidad de sombra que contribuya a la mitigación de las elevadas temperaturas, particularmente durante las olas de calor.

EL CAMINO HACIA EL FUTURO ESTÁ ESCRITO EN LA NATURALEZA

Los árboles actúan como hilos invisibles que conectan a los sistemas ambientales y sociales, y promueven la interacción entre el suelo, el agua, la biodiversidad, la comunidad humana y el clima. Además de promover la salud y el equilibrio del ecosistema, los árboles presentes en los bosques alejados de las zonas urbanas, y los de los parques y camellones de las ciudades, proporcionan beneficios tangibles, psicológicos y espirituales a las comunidades que dependen de ellos. Cada vez que sembramos un árbol contribuimos a un futuro más verde, más saludable y equilibrado.

Es nuestra responsabilidad y privilegio asegurar que los árboles sigan siendo una parte integral de la vida en el planeta. Protejamos nuestros bosques y cuidemos nuestros árboles, no solo por nosotros, sino por las generaciones que vienen. Hagamos realidad nuestro compromiso con la conservación, para que el futuro que construyamos sea uno donde los árboles sigan contando su historia, susurrando al viento y ofreciendo vida a todos los seres vivos.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECYT) por el proyecto 6890/2023E financiado por el programa Redes de Investigación. Al CONAHCYT, por el apoyo para la realización de estancia sabática.

R E F E R E N C I A S

Avendaño-Hernández DM, Acosta-Mireles M, Carrillo-Anzures F and Etchevers-Barra JD (2009). Estimación de biomasa y carbono en un bosque de *Abies religiosa*. *Fitotecnia Mexicana* 32:233-238.



Beech E, Rivers M, Oldfield S and Smith PP (2017). GlobalTreeSearch: The first complete global database of tree species and country distributions. *Journal of Sustainable Forestry* 36:454-489.

Christner BC, Morris CE, Foreman CM, Cai R and Sands DC (2008). Ubiquity of biological ice nucleators in snowfall. *Science* 319:1214.

Kilgore G (2023). How much CO₂ Does a tree absorb? 29 trees & plants ranked by most CO₂? Recuperado de: <https://8billiontrees.com/trees/how-much-co2-does-a-tree-absorb/>.

Mostan S (2024). Photosynthesis and the Global Carbon Cycle: a vital connection. International. *Research Journal of Plant Science* 15:1-2.

Pompa-García M y Rodríguez JAS (2017). Variación de captura de carbono de especies forestales en México: una revisión. *Madera y Bosque* 23:225-235.

Soto-Correa JC, Cambón-Sandoval VH y Renaud-Rangel R (2019). Atributos de las especies arbóreas y su carbono almacenado en la vegetación del municipio de Querétaro, México. *Madera y Bosques* 25:e2511699.

Winbourne JB, Jones TS, Garvey SM, Harrison JL, Wang L, Li D, Templer PH and Hutrya LR (2020). Tree transpiration and urban temperatures: Current understanding, implications, and future research directions. *BioScience* 70:576-588.

Marlín Pérez-Suárez
Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales
Universidad Autónoma del Estado de México
mperezs@uaemex.mx

Tomás Martínez-Trinidad
Postgrado en Ciencias Forestales
Colegio de Postgraduados, Texcoco

© Rafael Pareja. De la serie Nuestras manos, 2023.



Por un Museo de Telecomunicaciones para México

Leopoldo **Noyola**

Ahora que los jóvenes de México disfrutan desde temprana edad de esa sorprendente máquina de historias y de imágenes que es el teléfono celular, la promesa de un museo tecnológico de comunicaciones radioeléctricas los pondrá en posición de entender cabalmente cómo fue posible la hazaña de la comunicación que hoy mueve al mundo, pero que, para su sorpresa, encontrarán que este proceso inició a mediados del siglo XIX.

Tuve el gusto de conocer hace cuarenta años al licenciado Manuel Rosales Vargas que en aquel entonces era asistente del ingeniero Tomás Guzmán Cantú, aquel anciano pequeño, amable y platicador que insospechadamente luchaba contra los molinos de viento de la indiferencia oficial, debido a una respetable cantidad de equipo histórico que había reunido desde los años cincuenta para una incumplida promesa de fundar un Museo de las Telecomunicaciones de México.

Tuve ocasión de entrevistar a Manuel Rosales en una visita que hizo a la ciudad de Puebla el marzo de 2025, encontramos una cafetería sin demasiada concurrencia en uno de esos magníficos patios de los que es pródiga esta ciudad virreinal. Actualmente, Manuel reúne los requisitos para la formación de una sociedad civil que sea competente para hacerse cargo del proyecto del Ing. Guzmán Cantú, en el que Rosales, desde hace décadas, nunca ha quitado el dedo del renglón.

¿CUÁL ES LA SITUACIÓN ACTUAL DEL MUSEO, MANUEL?

En este momento, mis esfuerzos se concentran en la organización de una asociación civil para la consolidación de un proyecto de museo de las telecomunicaciones de México. Me llevé más de 25 años investigando todos los ramos de las telecomunicaciones, que empezaron con el telégrafo en el siglo XIX, luego el teléfono, la comunicación inalámbrica, la radiodifusión, la televisión y de ahí hasta los satélites. Se recabó información de toda la historia de la era satelital que llegó a México, con las diferentes etapas que tuvieron los satélites domésticos, empezando por Solidaridad hasta los Sat-mex, que hoy están en órbita. Esa fue la parte que me tocó investigar, empecé en 1984 con un proyecto a nivel nacional con el ingeniero Guzmán.

HÁBLAME DEL INGENIERO.

Al ingeniero Tomás Guzmán Cantú me lo asignaron cuando ingresé a una oficina de telecomunicaciones, en lo que era la Dirección General de Telecomunicaciones; me invitaron a participar en un proyecto de investigación histórica, primero, y después museográfica. Ingresé con un grupo de gentes que en ese tiempo estaba coordinando un destacado personaje de las telecomunicaciones de México, el ing. Tomas Guzmán Cantú. Me pidió que colaborara con un pionero de la cuestión editorial de las telecomunicaciones, editaban una revista que se llamaba Teledatos, y en ese entonces se trataba de hacer la historia de las telecomunicaciones, pero no había un proyecto. Yo no lo sabía hacer, por lo que pedí ayuda a mi facultad de la UNAM, en donde estudiaba sociología.

El profesor Mario Huacuja me ayudó a hacer el proyecto, y otro profesor, Pedro Hernández, que era el responsable de los talleres de investigación, me ayudó a elaborar un guion. Así se lo presenté al ingeniero Guzmán. “A ver si es lo que quiere, ingeniero, porque me dicen que un proyecto de esta magnitud es de mucha responsabilidad, que no es cualquier

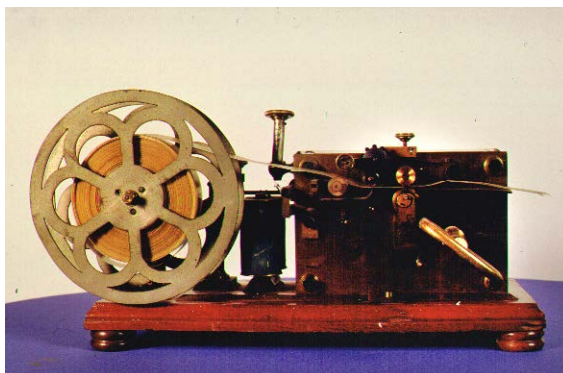
cosa”, le advertí. Don Tomás lo leyó y me dijo que estaba bien.

¿POR QUÉ ERA TAN IMPORTANTE EL INGENIERO GUZMÁN CANTÚ?

Era un ingeniero más de las telecomunicaciones, pero también era único. Al ingeniero Guzmán lo jalaron gentes de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) que fueron sus alumnos, entre los que destacaba el ingeniero Eugenio Méndez Docurro que, en tiempos de Luis Echeverría, figuró como secretario de comunicaciones y director del CONACYT. Entonces el ing. Méndez Docurro jaló a su maestro, que era el ing. Tomas Guzmán Cantú y le dice: “Oye –porque así le hablaba–, quiero que te hagas cargo de la red de telecomunicaciones que echó a andar Miguel Alemán, porque viene un ambicioso proyecto nacional de telecomunicaciones que abarca telefonía rural, las microondas y las radiocomunicaciones telegráficas; quiero que tú, como eres ingeniero en comunicaciones, te encargues de eso”. El Ing. Guzmán era egresado de dos carreras del politécnico y había sido estudiante destacado de la famosa escuela de ingeniería del Politécnico, la ESIME, donde el propio Méndez Docurro también se había graduado con honores. De modo que lo nombra como jefe del Departamento de Telecomunicaciones.

Como tal, el ingeniero Guzmán se responsabilizó del tendido de las primeras rutas de microondas del país. A él se debió la selección del equipo francés

Figura 1. Registrador telegráfico de cuerda, marca Siemens, utilizado de 1886 a 1920.



especializado para el tendido de la primera ruta de 120 canales. Méndez Docurro lo instruye para arrancar en el sureste.

¿QUÉ ERAN LAS MICROONDAS?

Las telecomunicaciones arrancan con el telégrafo, que era por hilos y luego fue inalámbrico. Pero era un solo sistema, no se podía conectar con otro; luego fue el teléfono, que también estaba separado, después la radiocomunicación, pero con las microondas ya se podían enrutar todos los sistemas de telecomunicaciones, con un solo transmisor podías transmitir telegrafía, telefonía, radio y televisión. El ingeniero Guzmán, sabedor de eso, le dijo al ing. Méndez Docurro: “No necesitamos andar invirtiendo para establecer líneas telegráficas, ni telefónicas; este equipo francés nos ofrece la capacidad para 120 canales por nodos. “¿Qué es un nodo?”, le preguntó Méndez. “Un nodo es que tú puedes enlazar el sureste con el norte con

más de cien canales, puedes transmitir telegrafía, telefonía, télex y lo que quieras”. “¿Y qué nos cuesta?”. “Pues hay que traerlo de París”. Y se trajeron unos dispositivos que fueron los primeros equipos de microondas que llegan a México. Entonces a él se debió que México fuera el primer país latinoamericano en explotar las microondas, y pudo ofrecer a la industria de las telecomunicaciones el servicio de enrutar todos sus sistemas.

Ese fue el primer gran proyecto del ingeniero Tomás Guzmán Cantú. Fue el pionero de la modernización de lo que después se conoció como el auge de las telecomunicaciones en los años 60. Ya cuando echaron a andar el Plan Nacional de Telecomunicaciones ya venía de atrás una base tecnológica y científica para extenderlo a todo el país. Empezó en el sureste y luego fue la de occidente, de Guadalajara hacia el norte, pero el ingeniero Guzmán Cantú supervisó la instalación y tendido de esas dos rutas. Con eso quedaron las bases sentadas para el Plan Nacional de Telecomunicaciones, que se consolida en los sesenta.

Con las olimpiadas de 1968 ya se pudo hacer un enrutamiento para el mundo a través de la estación terrena Tulancingo I, que estaba en el plan nacional; ahí don Tomás le pide al ingeniero Trinidad Torres Soto que planeara la instalación de la estación terrena, una parábola de 32 metros, la más grande de América Latina, emblemática del estado de Hidalgo, que fue donde yo me inicié como empleado de telecomunicaciones. México firma en 1964 un convenio con Intelsat para tener los beneficios del satélite conocido como Pájaro Madrugador (el Intelsat I), una infraestructura que bañaba de señal satelital a todo Centro y Sudamérica. Fue el primer satélite que México utilizó.

Fue así como conocí al ingeniero Tomás Guzmán Cantú y empecé a enterarme de su trayectoria y el gran interés que tenía por las comunicaciones de México. Lo nombraron mi asesor y llegué a tener una relación estrechísima con él, llegué a ser parte de la vida del ingeniero, a tal grado, que su hijo Raúl decía en broma que me quería más a mí que a él.

Figura 2. Teleimpresor T100, Siemens, utilizado entre los años 1960 y 1990.



HABLEMOS AHORA DEL MUSEO DE LAS TELECOMUNICACIONES DE MÉXICO.

Desde un primer momento, el ingeniero Guzmán Cantú me dijo que andaba buscando a quién heredarle un proyecto que había iniciado en Radio Chapultepec. En una sala de esas instalaciones, que estaban en la segunda sección del Bosque de Chapultepec, instaló las bases del primer Museo de Telecomunicaciones. Y a quince días de su inauguración, por mandato del presidente Adolfo López Mateos, se suspendió y “nos mandó a volar con todo y estación”.

¿QUÉ ERA RADIO CHAPULTEPEC?

En la Primera Guerra Mundial el orden internacional no permitía que los países fabricaran equipos de telecomunicación, los únicos que podían hacerlo eran los países que estaban en conflicto, como Alemania, entonces otros países como Francia e Inglaterra, que tenían intereses en países como México, vieron la forma de traer una estación a nuestro país que pudiera enlazar con Europa; le proponen al gobierno de Venustiano Carranza la instalación de una estación de radiotelegrafía que los enlazara con Europa.

Así nació Radio Chapultepec que el ingeniero Guzmán comenzó a instalar en pleno bosque, una antena de 50 metros de altura que harían funcionar con un potente equipo alemán. Pero en el trayecto Estados Unidos decomisó la mitad de los instrumentos, solo llegaron una parte del transmisor, que era el oscilador y una sección de la fuente, pero el amplificador no llegó. Entonces el ingeniero, como tenía conocidos muy competentes en Monterrey, les pidió que hicieran el amplificador, que terminó siendo un monstruo de seis metros y doce toneladas de peso.

Al final, Radio Chapultepec arranca con ese equipo, parte alemán y parte regiomontano. Así se da servicio público a la gente, a la banca, a la industria, de comunicación instantánea con Europa.



Figura 3. Perforador y transmisor de cinta Modelo T 68, utilizado a partir de 1960 hasta finales de 1990.

A diferencia de las microondas, que son de punto a punto, que quiere decir que es una línea recta, la radiotelegrafía es por rebote troposférico; se genera una señal, se va a la tropósfera y la emite al otro contacto. Eso es lo que hace la radiocomunicación, no le afectan los cerros, transmite desde cualquier lugar del mundo. Así fue como la radiotelegrafía se fortalece en plena Revolución Mexicana y funciona por décadas; terminada la Segunda Guerra Mundial, Radio Chapultepec, como era federal, era propiedad del Estado y lo administraba la Secretaría de Guerra y Marina, no la SCT; pero después de la guerra se la dan a la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas, con quien estuvo operando hasta los años 60.

Cuando por orden presidencial había que desalojar Radio Chapultepec porque ahí iba a quedar –como lo hizo– el Museo Nacional de Antropología e Historia, fue que les pidieron el desalojo. Entonces el ingeniero Guzmán Cantú agarró todo su equipo y lo llevó a un terreno que le dieron en Iztapalapa, lo que después fue la Radiotransmisora “Miguel Alemán”. Era un “museo” de unas doscientas piezas, pero para nada despreciable, equipos como los primeros “pianitos” Hugues que trajeron a finales del siglo XIX, los primeros perforadores de cinta Siemens para las mesas de transmisor, y bueno, la propia Radio Chapultepec que hoy se halla en el Museo del Telégrafo, y todavía queda disponible para el próximo museo el amplificador y el excitador originales, un equipo que mide 25 metros con un transmisor de 20 kilowatts.



Figura 4. Teleimpresor T1000, marca Siemens, utilizado de 1970 a 1990..

Si no hubiera sido por eso no existirían el museo del telégrafo de la Ciudad de México ni los otros cuatro pequeños museos que hay en el país.

¿NO LE OFRECIERON ALTERNATIVAS PARA EL GRAN MUSEO?

El ingeniero Guzmán, por más esfuerzo que hizo, no logró prender interés en las administraciones siguientes. Los funcionarios no tenían vínculos con las comunicaciones históricas.

Por otro lado, las telecomunicaciones seguían avanzando a paso veloz y había muchos compromisos nuevos que atender. Al presidente José López Portillo le dijeron: “señor presidente, México tiene la necesidad imperiosa de poner en órbita unos satélites geoestacionarios de telecomunicaciones, urgentemente, porque el rango radioeléctrico lo compartimos con Canadá, quien dice que, si nosotros no ocupamos el espacio de los 113 a los 109 grados, ellos sí lo ocupan, pues necesitan más espacio”. La respuesta fue que no había recursos para ese proyecto, porque se había decretado el Plan Nacional de Desarrollo.

Lo que hizo el ingeniero Clemente Pérez Correa fue ir a Washington con su gente y hablaron con la McDonald Douglas, con Hugues, hasta que lograron obtener un crédito a México para los satélites; City Bank les prestó 150 millones de dólares y los demás le financiaron por diez años. Así surgió la primera puesta en órbita de la era satelital mexicana, fueron los primeros satélites mexicanos, porque los

pagó México, y se llamaron Morelos, que después fueron Solidaridad con Carlos Salinas de Gortari. Ya a finales de los 90 fue el sistema Satmex, que ya no manejaba México, sino que estaba concesionado. Así fue como surgieron las generaciones de satélites mexicanos.

¿CUÁL ES LA SITUACIÓN MUSEO HOY?

Independientemente de si se recupera el acervo que yo rescaté, de unas cinco mil piezas, todo ese equipo está amparado con documentos oficiales, porque los donativos se documentaron oficialmente, tanto de los pioneros como de empresarios, porque hay material que no es de la Secretaría, son donaciones de personas privadas para el proyecto de museo.

Hoy son de gobierno porque están en poder de lo que era la Dirección General de Telecomunicaciones; esta desaparece con la 4T y hoy, con el nuevo organismo, que es Financiera Bienestar, se anda viendo la forma de dónde van a dejar todo ese equipo. Por eso es que mi asociación civil se acercó a ellos, y cuando supieron de nosotros, dijeron “Ah, pues ya está”. Aceptaron que si llegamos a un convenio con ellos todo ese equipo pasará a la asociación civil para la realización del museo.

La Asociación de amigos del Museo de Telecomunicaciones, A.C. nace con un objetivo social único, fundamental, es la creación y operación del museo nacional de telecomunicaciones, que va a ser administrado por un fideicomiso que debe estar integrado por la iniciativa privada, pero no por cualquier empresario; son empresarios que tienen un interés permanente en el desarrollo de las telecomunicaciones. Entonces esos empresarios que van a estar dentro del proyecto, más les vale que no desaparezca, porque si desaparece está desapareciendo parte de su historia y de sus recursos; pero como ese museo les va a permitir espacios para seguir promocionando sus propios productos, eso va a favorecer a la sociedad mexicana porque se va a dar a conocer una historia sorprendente que, salvo Japón, Chile y España, que fundaron algo parecido, pero sin el



© Rafael Pareja. De la serie *Nuestras manos*, 2018.

extraordinario acervo que México tiene. Los españoles solicitaron prestado un “pianito” Hugues para el evento del 1992, pues no tienen ninguno; yo ya lo había empacado, pero no se envió porque el pabellón de los descubrimientos donde se instalaría se incendió, en eso nos enteramos y ya no se envió. Lo que enviamos fue un video sobre el funcionamiento del equipo Hugues, o sea, el “pianito”.

¿CÓMO SE GARANTIZA LA PRESERVACIÓN DE ESTE ACERVO HISTÓRICO DE LOS MEXICANOS?

El temor que pudiera haber de que desaparezca parte o la totalidad de este equipo histórico tiene dos candados que lo hacen difícil, la Asociación de amigos del museo de telecomunicaciones, A.C. estará integrada al CICPIM, como lo estoy yo desde ahora, es el Consejo Internacional de Conservación del Patrimonio Industrial Mundial; el acervo que yo rescaté está registrado en el CICPIM, ellos están auspiciados por las UNESCO, quien está vigilante a nivel mundial del patrimonio industrial, por eso se llama así.

Entonces yo, antes de irme, voy a dejar una cédula para que, si mi sucesor llegara a tener problemas con el gobierno o con los empresarios, acude al CICPIM y denuncia lo que quieren hacer. No pueden moverlos, porque son donativos y están registrados en la UNESCO y se genera un escándalo grave para

el gobierno mexicano por descuidar un acervo que no le pertenece, pues es patrimonio mundial. Y es que el patrimonio industrial pasa a ser catalogado como una herencia de la humanidad, no es fácil desaparecer un bien de patrimonio industrial. Por ejemplo, el equipo que yo rescaté pasó de una cuenta inventarial que tiene el patrimonio nacional, que es de la 11.05 para equipo técnico y todo eso, pero al pasar a la 11.06 ya no se puede desaparecer, no lo puedes romper, ni tocar, salvo que se queme. Pero si desaparece, eso está penado por la ley, pues pertenece a una codificación de acervo que ya pasó a ser histórico.

HÁBLAME DE PIEZAS DESTACADAS QUE TIENE EL ACERVO DEL PRÓXIMO MUSEO.

Existe un acervo filmico, que es la fototeca que se armó con equipos muy selectos, como el equipo de González Camarena, como las primeras estaciones de radio, los primeros radiotransmisores de los radioaficionados, como el transmisor de Juan Lobo y Lobo, que son equipos especiales de enorme valor, únicos; equipos muy grandes que si pasan al control de una asociación no quiere decir que se pueda hacer mal uso de ellos, que se puedan vender o negociar, aparte de que es un delito; la asociación está para velar por la custodia del equipo, entonces se van al museo, y un museo ya es intocable, intransferible. Los museos pasan a ser como un recinto democrático donde todo el público puede asistir, y por eso el gobierno tiene la obligación de dar garantías para operarlo. Es decir, un museo no puede desaparecer de la noche a la mañana.

Bueno, la especificación de un concepto museográfico es muy definido, no puede uno mezclar un tema con otro que no tenga nada que ver, en este caso con la tecnología. Las telecomunicaciones son un medio de comunicación electromagnético, por lo que el concepto metodológico queda muy claro. El electromagnetismo. Este proyecto nos debe interesar por dos razones muy simples, primero porque en este museo se va a mostrar la historia de un México, que ha pasado por muchas vicisitudes, pero que por su ubicación geográfica ha contado



© Rafael Pareja. De la serie *Nuestras manos*, 2018.

con los sistemas de telecomunicaciones prácticamente desde sus orígenes. Cinco años antes que Francia México recibió el primer sistema telegráfico; dos años después de que Alejandro Graham Bell patentara el teléfono llegó a nuestro país; el cable submarino y la radiotelegrafía se instalaron todavía en etapa de pruebas; la radiodifusión, la televisión las microondas, todas llegaron a México aún en proceso de experimentación. De modo que hay mucha historia en esos equipos. Y con las microondas y los satélites se abre un abanico impresionante de servicios hasta llegar al internet, la síntesis de todo eso.

Es lo que el pueblo va a poder conocer. La gente va a interactuar con los módulos que se van a instalar sobre esa evolución tecnológica, cada sala va a tener espacios lúdicos, además de conocer la historia en especie con prototipos de esos sistemas. Un museo de quinta generación con lo mejor de la tecnología, como las cédulas sonoras, un equipo que te responde preguntas emitidas desde casi cualquier idioma. Los niños de hoy, quienes no saben que su abuelo usaba un teléfono de baquelita negra para comunicarse con sus familiares, va a poder probar esos equipos para entender mejor las generaciones

tecnológicas a las que están tan estrechamente relacionados. Ojalá que vean en este proyecto una oportunidad para toda la población estudiantil a la que le gusta la historia de su país y quienes les gusta ser mexicanos, porque ahí mostramos la creatividad de muchos sabios como don Guillermo González Camarena, como un Alejo Peralta que fue, además de empresario, un impulsor de la telefonía en México; otro, como Lázaro Barajas, que logró que en México tuviera radiodifusoras para toda América Latina.

Un gran proyecto muy ambicioso que a la mejor para quien no conozca mucho de este tema, va a ser muy útil. Y el empresariado se va a fortalecer porque ahí va estar su historia, van a estar sus marcas, va a haber espacios para que ellos sigan difundiendo lo que hacen. Un proyecto muy ambicioso y benéfico porque todos vamos a salir ganando.

Gracias.

Leopoldo Noyola
Revista Elementos
polo.noyola@gmail.com



© Rafael Pareja. De la serie *Nuestras manos*, 2018.

Internet, *big data* y ciencia de datos: una triada transformadora

María Josefa **Somodevilla García**

Internet, *big data* y ciencia de datos forman una tripleta poderosa que está revolucionando a toda la sociedad. Su proceso de interacción permite la generación, procesamiento y análisis de grandes cantidades de datos para brindar una comprensión adicional y poder tomar decisiones informadas. En este artículo se tratarán aspectos importantes de cada componente de esta triada, como lo son sus competencias, sus áreas de aplicación, así como los desafíos que esta representa.

INTERNET: LA FUENTE INAGOTABLE DE DATOS

Internet es una red de computadoras que se encuentran interconectadas a nivel mundial para compartir información y, debido al incremento de los dispositivos conectados a la misma, facilita la generación masiva de datos. Esta impresionante actividad en línea genera diariamente una cantidad enorme de datos, la cual proviene principalmente de las redes sociales, el comercio electrónico y los dispositivos IoT (Internet de las Cosas).

Las redes sociales generan datos a través de publicaciones, comentarios y otras interacciones de sus usuarios. Por ejemplo, Rahul Shewale señala que cada minuto se realizan 6.3 millones de búsquedas en Google y se envían 41.6 millones de mensajes de WhatsApp (Shewale, 2024). Por otra parte, el comercio electrónico comprende transacciones

en línea, reseñas de productos y comportamientos de compra, y su análisis proporciona datos valiosos sobre las preferencias del consumidor. Los sistemas de recomendación son herramientas esenciales en el comercio electrónico para mejorar la experiencia del usuario y aumentar las ventas al sugerir productos relevantes. Estos sistemas emplean algoritmos que analizan el comportamiento del consumidor, los artículos comprados con anterioridad y otros datos para generar recomendaciones sugestivas, ejemplo en Amazon, eBay y Netflix. Finalmente, los dispositivos IoT suministran datos diariamente sobre las actividades realizadas en línea a través de dispositivos conectados, desde sensores de fábrica hasta artefactos inteligentes. El hecho de que el usuario también pueda completar transacciones en línea significa que la fuente de estos datos, conocidos como *big data*, sea altamente compleja, y aumenta cada día el potencial de Internet.

BIG DATA: LA GESTIÓN DE VOLÚMENES MASIVOS DE DATOS

Big data se refiere a conjuntos de datos extremadamente grandes y complejos que superan la capacidad de las herramientas de procesamiento de datos tradicionales, como los sistemas de análisis estadístico (SAS) o las bases de datos relacionales, por mencionar algunas. Para describir *big data* se hace referencia a sus características principales, conocidas como sus cinco V (Figura 1).

De acuerdo con Big data Analytics News, “en 2024 alcanzó 2.5 quintillones de bytes, a una velocidad de procesamiento promedio de alrededor de 45.6 Mbps” (Volumen y Velocidad), lo cual es fundamental para aplicaciones en tiempo real (BDAN, 2024). La calidad y precisión de los datos es crucial para obtener resultados confiables (Veracidad). *Big data* tiene una naturaleza heterogénea, ya que los datos, provienen de múltiples fuentes (Variedad). Este tipo de datos puede presentarse de manera estructurada, no estructurada o semiestructurada, y son multimodales (texto, audio, imagen, video). La V de Valor representa el objetivo

final de *big data*: “se estima que el mercado está creciendo a un ritmo astronómico, listo para alcanzar un valor de \$103 mil millones en 2027” (BDAN, 2024).

CIENCIA DE DATOS: LA EXTRACCIÓN DE CONOCIMIENTOS VALIOSOS

La ciencia de datos es una disciplina que se nutre de la integración y colaboración de diversas áreas del conocimiento para abordar problemas complejos y extraer valor de grandes volúmenes de datos generados por Internet y gestionados por *big data*. Por lo tanto, se pueden identificar tres dimensiones fundamentales que hacen de la ciencia de datos una ciencia interdisciplinaria en la que participan las matemáticas, la estadística, las ciencias de la computación, y la ética y legislación.

Las matemáticas y la estadística son necesarias para el análisis de datos. Por un lado, la estadística aporta los métodos para la inferencia, la probabilidad y la modelización de datos. Por otro lado, las matemáticas proporcionan las bases teóricas para entender y desarrollar algoritmos complejos, los cuales hacen posible el desarrollo de modelos de aprendizaje automático. Las ciencias de la computación abarcan una gran variedad de áreas de estudio que se centran en la teoría, el desarrollo y la aplicación de *software* y sistemas de computación para el procesamiento de grandes volúmenes de datos. Entre estas áreas destacan los algoritmos, el estudio de las estructuras de datos, la programación, la ingeniería de *software*, la inteligencia artificial, el aprendizaje automático y la visualización de datos. Los algoritmos, las estructuras de datos y la programación son esenciales para la implementación de modelos de ciencia de datos, ya que son imprescindibles para desarrollar sistemas escalables y eficientes para el análisis de datos masivos. Por su parte, las metodologías de la ingeniería de *software* son vitales para desarrollar aplicaciones y herramientas que soporten el análisis de datos a gran escala, como, por ejemplo, el diseño de sistemas para la gestión y la integración de datos, y la creación de interfaces de usuario.

La inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (ML) son campos interrelacionados de las



Figura 1. Las cinco V de *big data*

ciencias de la computación. Dichos campos se centran en crear sistemas capaces de realizar tareas que requieren de habilidades humanas, tales como razonamiento, aprendizaje, percepción, comprensión del lenguaje y toma de decisiones. Estos campos han revolucionado la tecnología y se aplican en asistentes virtuales y diagnósticos médicos, por ejemplo. Los sistemas inteligentes usan algoritmos que hacen predicciones y encuentran relaciones basadas en datos, y son capaces de identificar fraudes o ataques cibernéticos, entre otros. Los algoritmos de aprendizaje por refuerzo optimizan decisiones en entornos dinámicos, como los vehículos autónomos que navegan en escenarios complejos. Una etapa fundamental de la ciencia de datos es la comunicación de los hallazgos de manera efectiva, para lo cual se emplean herramientas de visualización de datos (Simplilearn, 2024). Dichas herramientas combinan las habilidades de diseño, estadística y programación, tales como gráficos de barras, de pastel, etc., facilitando la comprensión y la toma de decisiones basadas en datos. Con el uso creciente de datos personales y sensibles, la ética y la legislación son componentes críticos de la ciencia de datos. Para garantizar que el uso de datos se realice de manera responsable, los científicos de datos deben trabajar colaborativamente con expertos legales.

En México, el derecho a la protección de datos personales estaba regulado con diversas normativas por el Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos Personales (INAI), el organismo constitucional autónomo responsable de asegurar el cumplimiento de estas leyes. En la actualidad, el INAI ha concluido un proceso de transición hacia la nueva Secretaría Anticorrupción y Buen Gobierno.

En el sector privado, la Ley Federal de Protección de Datos Personales en Posesión de los Particulares (LFPDPPP) establece las reglas y lineamientos (*Ley Federal de Protección de Datos Personales en Posesión de los Particulares*, s.f.); por otro lado, en el sector público, la Ley General de Protección de Datos Personales en Posesión de Sujetos Obligados (LGP-DPPSO) se encarga de esta regulación (*Ley General de Protección de Datos Personales En Posesión de Sujetos Obligados*, s.f.). A pesar de la transición, las leyes mencionadas se encuentran aún vigentes

APLICACIONES PRÁCTICAS

La integración de Internet, *big data* y ciencia de datos ha permitido desarrollar una amplia gama de aplicaciones prácticas que están transformando diversos sectores para lo cual se requiere un conocimiento profundo del dominio específico en el que se aplica (Rice, 2024). Los expertos en el dominio colaboran con científicos de datos para asegurar que los modelos y análisis sean relevantes y aplicables al contexto específico, proporcionando interpretaciones precisas de los resultados que conllevan a acciones concretas.

Entre las aplicaciones más relevantes podemos mencionar que, en el área de salud y medicina, la telemedicina y los registros electrónicos de salud generan datos que facilitan el diagnóstico y tratamiento de enfermedades. En el campo de la educación, las plataformas de aprendizaje en línea recopilan datos sobre el comportamiento de los estudiantes, permitiendo mejorar los métodos de enseñanza y personalizar los procesos de enseñanza-aprendizaje al considerar sus necesidades.



© Rafael Pareja. De la serie *Nuestras manos*, 2012.



© Rafael Pareja. De la serie *Nuestras manos*, 2012.

Para las empresas de mercadeo digital, es posible analizar el comportamiento del consumidor en línea y personalizar campañas de publicidad, aumentando la rentabilidad. Al mismo tiempo, el procesamiento de grandes cantidades de datos puede identificar y mitigar amenazas de seguridad cibernética en tiempo real.

Otras aplicaciones importantes son las del transporte y la logística, especialmente en la optimización de rutas y la gestión de flotas. En tiempo real se utilizan datos de tráfico y condiciones de la carretera para reducir la duración de viajes; esto disminuye los costos de operación, aumenta la eficiencia y reduce las emisiones de carbono.

La interacción entre Internet, *big data* y ciencia de datos tiene un gran impacto en el desarrollo y funcionamiento de modelos de IA, porque Internet proporciona los datos, *big data* maneja su almacenamiento y procesamiento y la ciencia de datos desarrolla y perfecciona los modelos. Algunos de los aspectos clave de esta interacción pueden verse de la siguiente manera: 1) la mejora de la capacidad de respuesta a las consultas del usuario, en el sentido de hacerlas más precisas y contextualmente relevantes; 2) la escalabilidad y eficiencia, que permite atender a un gran número de usuarios simultáneamente sin perder calidad en las respuestas; 3) la innovación continua, que enriquece las capacidades del modelo para adaptarse a nuevas aplicaciones y usos. Al mismo tiempo, los elementos de esta triplete hacen posible que los modelos de lenguaje grande (LLM),

como ChatGPT, Deepseek y Gemini, entre otros, se conviertan en una herramienta poderosa y útil en una amplia gama de aplicaciones, desde la asistencia virtual hasta la generación automática de texto.

COMENTARIOS FINALES

La convergencia entre Internet, *big data* y ciencia de datos está revolucionando la forma en que los datos son generados, procesados y aplicados en los ámbitos público, privado y social. A medida que las tecnologías continúan avanzando, esta triada seguirá evolucionando, adoptando enfoques innovadores para enfrentar retos, dentro de los cuales destacan: la gestión de datos no estructurados, la privacidad y seguridad, y la gestión de la infraestructura y los recursos. La mayoría de los datos generados son no estructurados y pueden ser de cualquier naturaleza (imágenes, audio, datos de sensores, datos de texto, etc.).

Los datos no estructurados no están predefinidos mediante modelos de datos, como las bases de datos relacionales, por ejemplo, lo que presenta un desafío significativo para su almacenamiento y análisis. Es muy importante considerar, que el aumento en los ciberataques demanda un reforzamiento en las políticas de seguridad de los datos y, finalmente, entender que procesar grandes volúmenes de datos requiere de una infraestructura robusta y de recursos computacionales y ecológicos significativos, lo que puede ser costoso para muchas organizaciones y sobre todo para el medio ambiente.



© Rafael Pareja. De la serie Nuestras manos, 2012.

El impacto de los LLM en la conservación de los recursos naturales, específicamente, el impacto de la huella de carbono (Dhar, 2020) y agua (Li et al., 2023), es significativo y va en ascenso, lo cual plantea retos en términos de sostenibilidad energética, a medida que los modelos de IA se tornan más complejos. Las investigaciones actuales (Sarkar et al., 2024) se encaminan a racionalizar los centros de datos y trabajar en la reducción de la huella de carbono, generada por la utilización de estos modelos mediante el uso de fuentes de energía renovable y tecnologías más eficientes (Li et al., 2023).

Por lo tanto, el verdadero desafío será equilibrar la innovación con la responsabilidad, garantizando que estas tecnologías se utilicen de manera que beneficien a toda la sociedad, al mismo tiempo que salvaguarden nuestro planeta.

REFERENCIAS

- BDAN (2024). Big data Analytics News. 50+ incredible Big data statistics for 2024: Facts, market size & industry growth. *Big Data Analytics News*. Recuperado de: <https://bigdataanalyticsnews.com/big-data-statistics/>.
- Dhar P (2020). The carbon impact of artificial intelligence. *Nature Machine Intelligence* 2(8):423-425. DOI: <https://doi.org/10.1038/s42256-020-0219-9>.

Ley Federal de Protección de Datos Personales en Posesión de los Particulares. (s. f.). Cámara de Diputados. Recuperado el 18 de febrero de 2025, de: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lfpdppp.htm>.

Ley General de Protección de Datos Personales en posesión de Sujetos Obligados. (s. f.). Cámara de Diputados. Recuperado el 18 de febrero de 2025, de: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgdpdppo.htm>.

Li P Yang J, Islam MA and Ren S (2023). Making AI Less «Thirsty»: Uncovering and Addressing the Secret Water Footprint of AI Models. *arXiv*. Cornell University. DOI: <https://doi.org/10.48550/arxiv.2304.03271>.

Rice M (2024). 30 Data Science Applications and Examples. Recuperado de: <https://builtin.com/data-science/data-science-applications-examples>.

Shewale R (2024). Big data Statistics for 2024 (growth, market size & more). Recuperado de: <https://www.demandsage.com/big-data-statistics/>.

Simplilearn (2024). 23 Best Data Visualization Tools You Can't Miss! Recuperado de: <https://www.simplilearn.com/data-visualization-tools-article>.

Sarkar S, Naug A, Luna R et al. (2024). Carbon Footprint Reduction for Sustainable Data Centers in Real-Time. *arXiv*:2403.14092. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2403.14092>.

María Josefa Somodevilla García
Facultad de Ciencias de la Computación
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
maria.somodevilla@correo.buap.mx



© **Rafael Pareja**. De la serie *Nuestras manos*, 2012.

Cuando tres mundos cósmicos se besan

Dante Virgilio **Gomez-Navarro**

¿Alguna vez has visto animales y figuras en las nubes? Probablemente la respuesta sea sí. Los científicos también han mirado el cielo por medio de telescopios y han percibido “fantasmas danzantes” y “grandes sonrisas” situadas a millones de años luz de la Tierra. El universo se asemeja a una gran telaraña: tiene regiones vacías, está unido por hilos, posee nodos pegajosos (cúmulos de galaxias) que atraen galaxias y, una vez capturadas, estas son incapaces de liberarse de esta trampa cósmica debido a la fuerza de gravedad. Dentro de estas estructuras se esconden fenómenos espectaculares. Al igual que los sentimientos profundos, el cosmos expresa siempre más de lo que aparenta.

Si bien el ser humano ha mirado el cielo con telescopios desde hace cuatro siglos, fue en las últimas cuatro décadas cuando se volvió posible detectar miles de galaxias y mostrar la conexión entre los elementos de la telaraña cósmica. Por ejemplo, en los años 80 los instrumentos apenas eran capaces de observar 18 mil galaxias, mientras que actualmente es posible localizar millones de ellas, lo que indica que algunas residen en regiones pobladas, unas pocas en regiones vacías y otras más se localizan en los hilos cósmicos. Al contar con millones de galaxias de diferentes colores, tamaños y formas, los científicos reconstruyen el mapa del universo, sugiriendo cómo la gravedad y la materia cambian su estructura con el paso del tiempo (Figura 1). Los catálogos espectroscópicos de

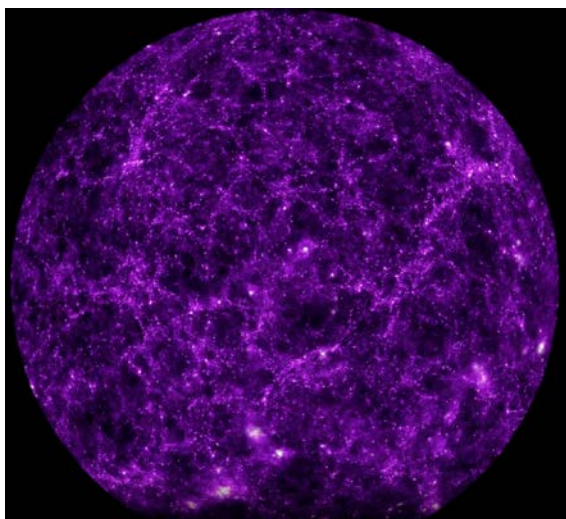


Figura 1. La red cósmica con datos simulados. Cada punto brillante en blanco representa una galaxia, y la materia oscura se muestra en color morado. Esta imagen permite ver los filamentos que conectan las galaxias y los vacíos cósmicos. La simulación está basada en el crecimiento de las estructuras, desde tiempos muy tempranos hasta el día de hoy, de la materia bariónica, la materia oscura y la energía oscura usando las ecuaciones de la cosmología, hidrodinámica y gravedad. El video completo de las estructuras del universo puede verse en el siguiente enlace: Red Cósmica. https://assets.science.nasa.gov/content/dam/science/missions/hubble/cosmology/cosmic-web/Hubble_Cruising_the_Cosmic_Web_V2_Dome_Version.mp4.

galaxias actuales, como DESI, medirán cerca de 40 millones de galaxias, generando la telaraña cósmica más precisa hasta el día de hoy (Gomez-Navarro, 2025). Esto representa solo una pequeña muestra de los 200 mil millones de galaxias que se estiman en el universo observable, aunque podría ser menor según un estudio reciente (Lauer *et al.*, 2021). Esto representa solo una pequeña muestra de los 2 millones de millones de galaxias que se estiman en el universo observable, según un estudio reciente (Conselice *et al.*, 2016; Lauer *et al.*, 2021). Esta cifra es una estimación y está limitada por los aparatos tecnológicos, así como por las nuevas preguntas y respuestas sobre el universo. Un instrumento espectroscópico como DESI divide la luz de las galaxias en diferentes colores para obtener información sobre su posición y la velocidad con la que se alejan de la Vía Láctea.

MATERIA BARIÓNICA Y MATERIA OSCURA

Las galaxias están constituidas por planetas, estrellas, nubes de gas, agujeros negros, es decir, por materia

ordinaria, la cual representa apenas una quinta parte de la materia total del universo. En astrofísica, a la materia ordinaria también se le conoce como *bariónica*, para diferenciarla de otro tipo de materia desconocida: la materia oscura. La mayor parte de la materia bariónica se localiza fuera de las galaxias, o sea, en el espacio intergaláctico. Además, el estudio de las simulaciones *Illustris* muestra que cerca de la mitad de la materia ordinaria se encuentra en estado gaseoso tibio-caliente (54 %), mientras que una cuarta parte (22 %) está en forma de gas frío difuso, y el resto (18 %) en estado condensado (Haider *et al.*, 2016).

De acuerdo con el modelo estándar de la cosmología, las galaxias residen en halos de materia oscura, cuya naturaleza es desconocida, pero cuyo efecto puede observarse de manera indirecta. Una forma de conocer dicho efecto es a través de las lentes gravitacionales. En el Mundial pasado vimos a Messi disparar el balón por encima de la barrera. Es probable que falle si hay muchos jugadores en la barrera, a diferencia de si solo hay uno o dos. Messi y otros futbolistas entrenan con diferentes tipos de barreras para evitar que estas desvíen el balón. Los astrofísicos usan un proceso similar para determinar la distribución de la materia oscura: observan la luz de muchas galaxias de fondo cuando pasa por “barreras” formadas por galaxias y sus halos de materia oscura. Estas barreras se conocen como lentes gravitacionales débiles, ya que provocan una ligera distorsión de las galaxias de fondo y son detectables usando un gran número de ellas.

FANTASMAS DANZANTES Y CÚMULOS DE GALAXIAS

Las trampas cósmicas, también conocidas técnicamente como cúmulos de galaxias, son aquellas regiones de la telaraña donde se agrupan más de 50 galaxias en un espacio relativamente pequeño. A su vez, los cúmulos se agrupan formando estructuras mayores conocidas como supercúmulos de galaxias. Los científicos utilizan la técnica de lente gravitacional débil para medir la masa de estos cúmulos, encontrando que más del 80 % de su masa corresponde a materia oscura, el 3 % a estrellas, y el 15 % a materia bariónica localizada entre las galaxias.

Además, los cúmulos se clasifican por su forma, masa, color y tamaño. El color, por ejemplo, indica la distancia aproximada en distintos momentos del tiempo. Al igual que los arqueólogos buscan un conjunto amplio de huesos para reconstruir la evolución humana, los astrofísicos detectan millones de galaxias de diferentes colores para recrear la red cósmica. Según el modelo estándar de la cosmología, las galaxias habitan en casas invisibles llamadas halos de materia oscura. Las trampas cósmicas son también un laboratorio ideal para estudiar la evolución del universo, ya que contienen casi la mitad de la materia oscura total; el resto se encuentra distribuido en los filamentos y las regiones vacías de la red cósmica. Asimismo, estas trampas cósmicas albergan la cuarta parte de la materia ordinaria total.

Los constituyentes fundamentales de los cúmulos son las galaxias. Sin embargo, cada galaxia tiene su propio mundo. Por ejemplo, contienen agujeros negros que generalmente residen en el centro, con masas de millones o incluso miles de millones de veces la masa del Sol. La mayoría de los agujeros negros son inactivos, y solo el 1 % de ellos está activo, es decir, incorporan materia de su entorno. Este tipo de galaxias activas se conocen como cuásares. Al igual que un tornado añade fragmentos pequeños creando nubes de polvo a su alrededor, la actividad de los agujeros negros puede generar destellos en el espacio: los fantasmas danzantes (Figura 2).

Como decía Octavio Paz, un mundo nace cuando dos se besan. Y eso es lo que sucede con dos galaxias distantes, cada una con un agujero negro supermasivo, que se besan generando fenómenos espectaculares. Un equipo de científicos de la Universidad de Sídney y del Consejo de Ciencia de Australia observó que los agujeros negros expulsan nubes de electrones que son intensamente dobladas por los vientos galácticos, dando lugar a peculiares nubes de electrones danzantes (Norris *et al.*, 2021).

La forma en que los agujeros negros atraen material de su entorno es clave para comprender la formación de galaxias. Por ejemplo, las galaxias que contienen agujeros negros masivos en su centro y

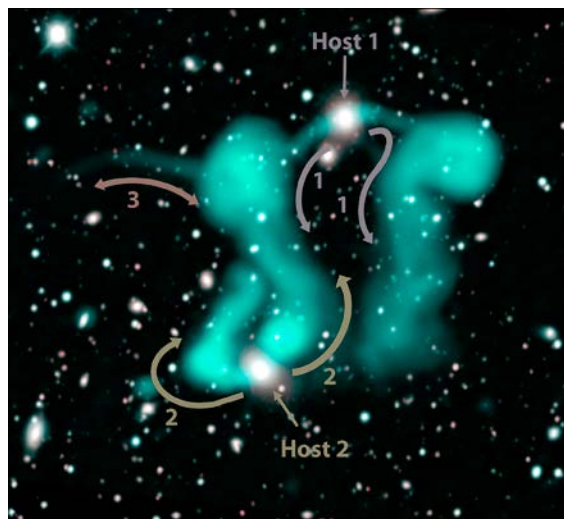


Figura 2. Fantasmas danzantes en el universo. Las nubes de electrones son afectadas por los vientos de las galaxias situadas en el centro de los chorros estrechos. Obtenida de Norris *et al.* (2021).

que se encuentran en regiones vacías experimentan una fuerte acreción, originando siluetas similares a las que vemos en las nubes.

FILAMENTOS CÓSMICOS Y LA SONRISA CÓSMICA

En el universo también hay puentes que conectan los cúmulos de galaxias y las regiones vacías, conocidos como hilos o filamentos cósmicos. Estas estructuras son de gran importancia para la astrofísica, ya que contienen cerca de la mitad de la materia bariónica total, según un estudio basado en los datos de las simulaciones *Illustris* (Haider *et al.*, 2016).

También se ha observado una gran sonrisa en el cielo, el Arco Gigante, con un tamaño de 1 Gpc cuando el cosmos tenía apenas la mitad de su edad actual. Es una estructura filamentaria y curva, compuesta por galaxias y cúmulos de galaxias (López *et al.*, 2022).

El pársec (símbolo pc) es una unidad de longitud en astronomía, y sus múltiplos más comunes son el kilopársec (kpc), megapársec (Mpc) y gigapársec (Gpc). Para objetos dentro y alrededor de la Vía Láctea se usa el kpc; para galaxias a distancia media, el Mpc; y para galaxias muy distantes, el Gpc.

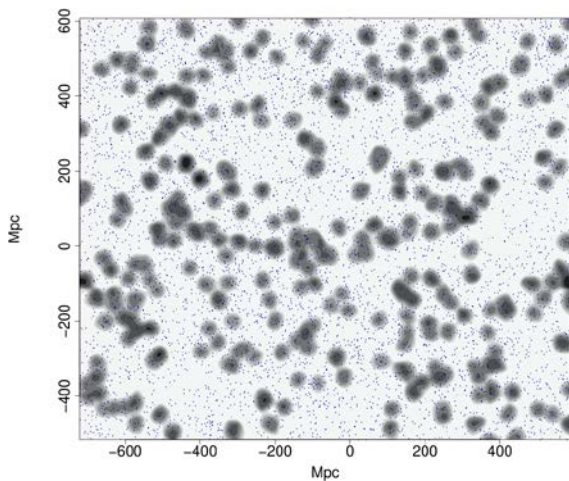


Figura 3. El Arco Gigante o Gran Sonrisa. Las regiones en gris muestran la distribución de galaxias y cúmulos de galaxias. Los puntos en azul indican el fondo de cuásares. Obtenida de <https://doi.org/10.1093/mnras/stac2204>.

El principio cosmológico es uno de los pilares del modelo estándar de la cosmología y sostiene que no hay un lugar privilegiado en el universo. Es decir, si una persona en la Tierra y otro observador en una galaxia lejana observan la misma región del espacio al mismo tiempo, ambos verán los mismos fenómenos naturales. Esto implica que el cosmos es homogéneo a gran escala, es decir, en regiones mayores a 150 Mpc, aunque existe un debate sobre dónde establecer la escala de homogeneidad. Por ejemplo, usando la teoría de perturbaciones dentro de la relatividad general es posible tener estructuras mayores, incluso de tamaños de Gpc (Canay *et al.*, 2020).

Sin embargo, existen estructuras que superan esta escala de homogeneidad. Una de ellas es la gran sonrisa, unas tres veces más grande que dicha escala. Si bien es posible encontrar anomalías como esta dentro del modelo estándar, ya que solo se han detectado alrededor de una decena de objetos similares entre millones, también abre la posibilidad de cuestionar el principio cosmológico y explorar alternativas.

La gran sonrisa no es la única estructura que rebasa esta escala: por ejemplo, la Gran Pared Hércules-Corona Boreal es probablemente la estructura más grande descubierta hasta ahora.

Explorar estos objetos permite cuestionar los paradigmas del modelo estándar de la cosmología. El descubrimiento de este conjunto de estructuras sugiere explorar nuevas alternativas para la validez del principio cosmológico (Aluri, 2023). Por ejemplo, un camino es comparar con estructuras galácticas con la misma forma y tamaño, y experimentar con datos simulados con la finalidad de diferenciar las conexiones entre ellas.

Asimismo, seguir con la mejora de los métodos usados para detectar estos grandes objetos, ya que con las nuevas tecnologías se pueden alcanzar datos más precisos.

El principio cosmológico es solo un elemento del modelo estándar de la cosmología, por lo que estos resultados podrían ser otra razón para un cambio de paradigma en el modelo estándar y, además, se complementa con otras observaciones: los nuevos resultados de DESI (una encuesta de galaxias) refuerzan las pistas de que la energía oscura está evolucionando, cuestionando el modelo estándar (DESI, 2025).

VACÍOS CÓSMICOS

Finalmente, los vacíos cósmicos abarcan regiones muy grandes del espacio: cerca del 80 % del volumen del universo corresponde a estos vacíos. A diferencia de los cúmulos de galaxias, los vacíos contienen poca materia oscura, alrededor del 6 %, mientras que en ellos reside el 31 % de la materia bariónica, según las simulaciones Illustris (Haider *et al.*, 2016).

Los vacíos tienden a expulsar la materia hacia el exterior, concentrándola en los filamentos circundantes. Además, constituyen un laboratorio importante para el estudio cosmológico, ya que, al contener poca materia en su interior, permiten diferenciar entre modelos de gravedad.

La relatividad general ha sido probada en regiones de alta densidad como nuestro sistema solar; estudiar regiones de baja densidad podría descartar modificaciones a dicha teoría y resolver otro problema fundamental: la expansión acelerada del universo.

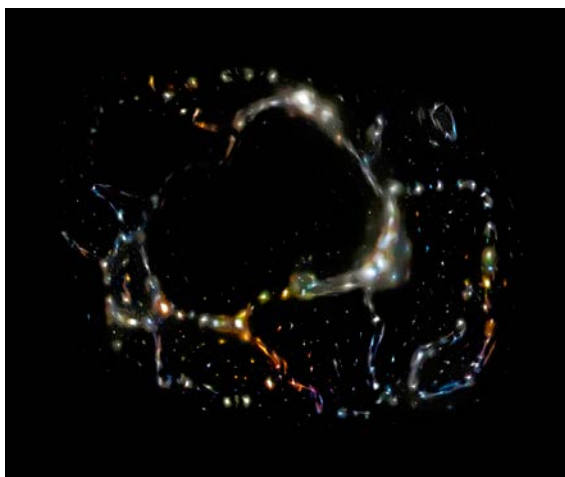


Figura 4. Representación artística del *KBC void*, una región vacía que contiene a la Vía Láctea, Andrómeda y muchas galaxias pequeñas. Obtenida de File: Kbc void.png-Wikimedia Commons.

Por ejemplo, la Vía Láctea se encuentra en un enorme vacío conocido como el Vacío Local o KBC void, con forma esférica y rodeado de galaxias y materia (Figura 4).

Esta región fue estudiada por Ryan Keenan, Amy Barger y Lennox Cowie, de ahí su nombre. Las dimensiones del Vacío Local son tan grandes que, si la Vía Láctea fuera un grano de arroz, el Vacío sería del tamaño del Estadio Azteca.

El Vacío Local también contiene más de 70 galaxias, incluyendo a Andrómeda y muchas otras pequeñas. Las galaxias dentro de un vacío cósmico experimentan una fuerza hacia afuera del mismo, lo que da lugar a un valor elevado para la constante de Hubble.

Esta constante es una medición fundamental en la cosmología moderna, pues representa qué tan rápido se expande el universo.

En este sentido, investigar los vacíos cósmicos podría ser una vía alternativa para resolver el problema de la tensión en la constante de Hubble, como se ha propuesto en la literatura científica.

¿POR QUÉ ESTUDIAR LA RED CÓSMICA?

Para ver la luz al final del túnel, hay que recorrer la oscuridad. Eso hacen los investigadores cuando intentan determinar cómo la gravedad modifica las grandes estructuras del cosmos a lo largo del

tiempo. La red cósmica juega un papel clave en el estudio de la formación y evolución de las galaxias. Las propiedades de estas, como su morfología, contenido de gas, tasa de formación estelar, edad y composición estelar, dependen del entorno donde se encuentran.

Las galaxias que habitan en regiones densamente pobladas presentan características distintas a las que se encuentran en vacíos cósmicos. Por ejemplo, en la intersección de los filamentos, las galaxias forman pocas estrellas o incluso dejan de hacerlo; adoptan una forma más elíptica y llegan al fin de su vida activa.

En cambio, los filamentos funcionan como medios de transición en los que las galaxias evolucionan antes de integrarse a los cúmulos. La evolución galáctica, por tanto, depende del entorno. De ahí la importancia de estudiar cómo evolucionan las galaxias en la red cósmica.

El estudio de la red cósmica permite conocer las propiedades del gas en los filamentos intergalácticos, abre nuevas posibilidades para el entendimiento de la evolución de las galaxias y ayuda a mejorar los modelos teóricos de la astrofísica simulados en supercomputadoras.

Además, las propiedades de las estructuras cósmicas responden a la naturaleza de la materia oscura y energía oscura, es decir, hay una relación entre el movimiento de las galaxias y la cantidad de materia oscura.

Esto significa que observar los elementos de la red es fundamental para entender la conexión entre la materia bariónica con la materia oscura y energía oscura, y luego ver si podemos explorar la naturaleza de estas y aprender algo nuevo. Solo nos queda esperar que las próximas encuestas galácticas capten la luz, el “ADN” de millones de galaxias, para crear el mapa más grande y preciso de supercúmulos y vacíos cósmicos.

R E F E R E N C I A S

Lauer TR *et al.* (2021). New Horizons Observations of the Cosmic Optical Background. *ApJ* 906 77. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/abc881>.

Conselice CJ *et al.* (2016). The evolution of Galaxy number density at $z < 8$ and its implications. *ApJ* 830 83. <https://doi.org/10.3847/0004-637X/830/2/83>.

Aluri PK *et al.* (2023). Is the observable Universe consistent with the cosmological principle? *Class. Quantum Grav* 40 094001 <https://doi.org/10.1088/1361-6382/acbefc>.

Canay E and Eingorn M (2020). Duel of cosmological screening lengths. *Physics of the Dark Universe* 29 200565. <https://doi.org/10.1016/j.dark.2020.100565>.

Gomez-Navarro DV (2025). El más grande mapa del universo en 3D. *Elementos* 137:21-26. <https://elementos.buap.mx/directus/storage/uploads/00000010490.pdf>.

Lopez AM, Clowes RG and Williger GM (2022). A Giant Arc on the Sky. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 516(2):1557-1572. <https://doi.org/10.1093/mnras/stac2204>.

Norris RP *et al.* (2021). The Evolutionary Map of the Universe pilot survey. *Publications of the Astronomical Society of Australia*. <https://doi.org/10.1017/pasa.2021.42>.

Haider M *et al.* (2016). Large-scale mass distribution in the Illustris simulation. *MNRAS* 457(3):3024-3035. DOI: <https://doi.org/10.1093/mnras/stw077>.



© Rafael Pareja. De la serie *Nuestras manos*, 2016.

The Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI) (2025). DESI Key Publications. Disponible en: Papers-DESI Data.

Dante Virgilio Gomez-Navarro
Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería
Campus Palenque, Instituto Politécnico Nacional
dgomezn@ipn.mx



Aves del Ecocampus Valsequillo de la BUAP: un primer contacto

José Antonio **González Oreja**
Carlos Augusto **Camacho Becerra**

En octubre de 2023 se puso la primera piedra en la construcción de “Ciudad Universitaria 2” (en adelante, CU2), el ambicioso proyecto que ha permitido a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) contar con un nuevo campus: el “Ecocampus Valsequillo” (en adelante, Ecocampus). Desde su planeación, la construcción de CU2 se ha considerado como un proyecto sostenible, con estricto respeto y cuidado al medio ambiente, y la BUAP ha certificado cerca del 65 % de las 102 hectáreas del Ecocampus como “área dedicada voluntariamente a la conservación”. Por ello, la BUAP se ha obligado a mejorar, conservar y proteger los recursos naturales del Ecocampus, así como a preservar su biodiversidad. Tras un período de intensas obras, CU2 se inauguró en agosto de 2024, cuando más de 4,400 nuevos alumnos comenzaron allí su vida universitaria.

El objetivo de este trabajo, que está en la línea de otros anteriores sobre la biodiversidad de Ciudad Universitaria de la BUAP (CU) (González Oreja *et al.*, 2019a; González Oreja, 2020; González Oreja *et al.*, 2023), es contribuir a que la comunidad universitaria de la BUAP en general, y los nuevos usuarios del Ecocampus en particular, puedan conocer mejor la realidad natural del espacio en el que realizan gran parte de sus actividades. Bien sea solo en ciertas estaciones, bien a lo largo de un ciclo anual

completo, lo cierto es que muchas especies de aves encuentran su espacio vital en los diferentes hábitats del Ecocampus. Pero, ¿de qué especies se trata; cuál es su importancia? Queremos presentar aquí un avance de las respuestas a estas preguntas e invitar a que los nuevos “habitantes” del Ecocampus (es decir, la comunidad científica, los estudiantes, el personal administrativo y el público en general) entren en contacto con esta fracción de su biodiversidad: las aves.

ÁREA DE ESTUDIO Y TRABAJO DE CAMPO

El Ecocampus se localiza al sureste de la ciudad de Puebla, dentro del área natural protegida “Parque Estatal Humedal Valsequillo”, a unos 2,100-2,200 m s.n.m. Presenta suelos con distinto grado de erosión, que en algunos puntos llega a formar barrancas con cursos de agua durante la temporada de lluvias, y amplias áreas con una vegetación más o menos uniforme: un matorral espinoso, con pequeños árboles dispersos, con presencia de mezquites (*Neltuma sp.*), huizaches (*Acacia sp.*), nopales (*Opuntia sp.*), yuca (*Yucca carnerosana*) y lechuguillas (*Agave sp.*), entre otros elementos de la diversidad florística del Ecocampus (Dolores Silverio, 2024, y referencias ahí citadas). Tanto los edificios más antiguos del Ecocampus (que datan de 2017) como los más recientes de CU2 (desde 2023) se construyeron sobre áreas cubiertas por matorrales como los que hemos descrito. En realidad, las obras continúan en el momento de redactar este texto; de ahí nuestro interés por conocer más sobre la biodiversidad de aves de las grandes extensiones de matorral del área de estudio.

Nuestro trabajo de campo sobre las aves del Ecocampus se desarrolló como sigue. En primer lugar, durante el mes de mayo de 2024, realizamos una prospección inicial del Ecocampus que nos permitió familiarizarnos con la topografía del terreno y constatar la baja abundancia generalizada de las aves. Y en segundo lugar, a finales de la primavera e inicios del verano (entre junio y julio), y en otoño del



Figura 1. Garza morena (*Ardea herodias*).

mismo año (octubre), estudiamos las comunidades de aves en dos tipos de hábitats: (i) las grandes extensiones cubiertas por matorrales espinosos, como los ya descritos, y (ii) las áreas edificadas, principalmente las construidas en 2017.

Para poder describir de forma adecuada las comunidades de aves del Ecocampus, en cada hábitat y en cada temporada del año realizamos varios itinerarios de censo sin límite de distancia entre el observador y las aves. Este es un método de censo de aves muy popular, poco costoso y fácil de implementar, que resulta especialmente útil en medios relativamente homogéneos, o allí donde una parte importante de la comunidad estudiada está representada por especies poco abundantes, y consiste en llevar a cabo un largo recorrido a pie en el que se registran todos los contactos visuales o auditivos con las aves (Tellería, 1986). En nuestros itinerarios recorrimos distancias variables a lo largo y ancho del Ecocampus, que iban desde cerca de 1 km en censos alrededor de las áreas edificadas, hasta algo más de 5.5 km entre las extensiones de matorral espinoso; la velocidad de nuestros recorridos varió entre casi 1 y poco más de 2.5 km/h. Identificamos *de visu* todas las aves presentes, de ser necesario con la ayuda de guías de campo y obras de referencia (por ejemplo, Alderfer y Dunn, 2021), o por su canto, en ocasiones ayudados por *Merlin Bird ID*, la aplicación para *smartphones* del *Cornell Lab of Ornithology* (2014).

A continuación, exponemos algunos de nuestros resultados. Acompañamos este texto con fotografías de las aves del Ecocampus, tomadas *in situ* por el primer autor (J. A. González Oreja) con una cámara digital Canon EOS 7D Mark II, equipada



Figura 2. Arriba: zopilote común (*Coragyps atratus*). Centro: milano cola blanca (*Elanus leucurus*). Abajo: aguililla cola roja (*Buteo jamaicensis*). **Figura 3.** Arriba: huilota común (*Zenaida macroura*). Abajo: chotacabras menor (*Chordeiles acutipennis*). **Figura 4.** Arriba: colibrí pico ancho norteno (*Cynanthus latirostris*). Abajo: colibrí corona violeta (*Ramosomyia violiceps*).

con una lente Canon EF 100-400mm 1:4.5-5.6 L IS II USM + Canon Extender EF 1.4x III.

AVES REGISTRADAS SOLO EN LOS MATORRALES ESPINOSOS DEL ECOCAMPUS

Detectamos 25 especies de aves exclusivas de los matorrales espinosos del Ecocampus, tanto no passeriformes (Tabla 1) como passeriformes (Tabla 2). De todas ellas, la especie dominante (y la única que consideramos muy abundante en este hábitat) fue la huilota común (Foto 3), pues representó más del 10 % de todos los individuos registrados en los itinerarios que realizamos entre los matorrales espinosos. Se trata de un ave frecuente en el área de estudio (Tabla 2; presente en casi todos nuestros transectos en este hábitat) y fácil de observar, ya en el suelo, ya en los arbolitos dispersos en el paisaje. Además, el verdugo americano (Foto 9) y el gorrión arlequín (Foto 10) fueron especies abundantes en nuestros transectos por las grandes extensiones de matorral, ya que las abundancias de cada una sumaron entre el 5 % y el 10 % del total registrado en este hábitat (Tabla 2). Observamos al gorrión arlequín solamente en los censos de otoño, en el suelo y entre los arbolitos de este hábitat, pero el

verdugo americano estuvo presente en todos los itinerarios que realizamos en los matorrales, tanto a finales de la primavera e inicios del verano como en otoño, y tanto en los arbolitos como en las cercas metálicas, los tendidos eléctricos y otros elementos artificiales del Ecocampus. Ambas son especies vistosas y también fáciles de observar.

El resto de las aves fueron escasas (7 especies), como el cernícalo americano, el carpintero del Balsas (Foto 5), o el gorrión barba negra; o muy escasas (5 especies), como el gorrión cantor, el papamoscas garganta ceniza (Foto 7), o el capulinerio negro (Foto 9), o extremadamente escasas (10 especies), como el zacatonero corona canela, el mosquerito chillón, o el pradero altiplanero (Foto 11).

AVES REGISTRADAS EN MATORRALES ESPINOSOS Y ÁREAS EDIFICADAS

Detectamos 14 especies de aves tanto en los matorrales espinosos como en las áreas edificadas del Ecocampus (Tablas 1 y 2). Este grupo estuvo muy claramente dominado por el gorrión doméstico (Foto 11), la única especie extremadamente

Orden	Familia	Nombre común	Nombre científico	Abund			[F]	[R]
				Mat	Edif	Ene		
Anseriformes	Anatidae	Pato Mexicano	Anas diazi	ExS				
	Pelecaniformes							
	Ardeidae	Garza Morena	Ardea herodias	✓			1	
Cathartiformes	Cathartidae	Zopilote Común	Coragyps atratus	✓		✓		
		Zopilote Aura	Cathartes aura	✓	✓	✓	2	
	Pandionidae	Águila Pescadora	Pandion haliaetus	✓				
	Accipitridae	Milano Cola Blanca	Elanus leucurus	✓	✓		2	
		Gavilán de Cooper	Accipiter cooperii	MS				✓
		Aguililla Cola Roja	Buteo jamaicensis	✓			2	
	Falconidae	Cernícalo Americano	Falco sparverius	S				
Charadriiformes								
	Charadriidae	Chorlo Tildío	Charadrius vociferus	ExS	MS			
Columbiformes								
	Columbidae	Huilota Común	Zenaida macroura	MA			3	
Cuculiformes								
	Cuculidae	Garrapatero Pijuy	Crotophaga sulcirostris	S			S	
Caprimulgiformes								
	Caprimulgidae	Chotacabras Menor	Chordeiles acutipennis	✓			3	
Apodiformes								
	Trochilidae	Colibrí Pico Ancho Norteño	Cynanthus latirostris	ExS			4	
		Colibrí Corona Violeta	Ramosomyia violiceps	ExS	S		4	
		Colibrí	Cynanthus sp.	ExS				
Piciformes								
	Picidae	Carpintero Bellotero	Melanerpes formicivorus	✓		✓		
		Carpintero del Balsas	Melanerpes hypopolius	S			5	
		Carpintero Mexicano	Dryobates scalaris	ExS			5	

Tabla 1. Especies de aves no paseriformes observadas durante nuestros itinerarios de censo a través de los matorrales espinosos (Mat) y las áreas edificadas (Edif) del Ecocampus Valsequillo, ordenadas de acuerdo a la *checklist* de la *American Ornithological Society* (Chesser *et al.*, 2024). Para cada especie se muestra su abundancia (Abund) en dichos hábitats, según su importancia relativa (IR): ExA (extremadamente abundante): IR > 25 % de la abundancia total correspondiente a cada hábitat; MA (muy abundante): 25 % > IR > 10 %; A (abundante): 10 % > IR > 5 %; S (escasa): 5 % > IR > 2 %; MS (muy escasa): exactamente 2 individuos; ExS (extremadamente escasa): solamente 1 individuo. Además, se indican en color rojo las especies observadas fuera de nuestros itinerarios (i.e., encinares, Enc) o las registradas solo en vuelo sobre los hábitats considerados. Un número en la columna [F] indica la fotografía que ilustra a 30 especies, y una marca [✓] en la columna [R] indica los registros notables (ver texto).

abundante en un hábitat determinado. Mientras que fue escaso en nuestros transectos a lo largo de las áreas de matorral, donde representó solo el 1.5 % de la abundancia total correspondiente, en las áreas edificadas este gorrión sumó más del 50 % de todos los individuos registrados (Tabla 2). Es decir, de cada dos individuos observados entre los edificios, uno era un gorrión doméstico! Muy probablemente, esto es reflejo del elevado grado de urbanización

de la zona edificada del Ecocampus, así como del carácter antrópico del gorrión doméstico, que le permite aprovechar con éxito los recursos disponibles en dicha zona. No en vano, sus colonias de cría en las oquedades entre los edificios son numerosas y fáciles de observar.

Las demás especies de este grupo incluyen aves tan llamativas y vocingleras como el tirano chibí (Foto 7), la matraca del Balsas (Foto 9), o el chorlo tildío, todas ellas fáciles de identificar por sus diversos cantos y reclamos; o tan vistosas para el observador

Orden	Familia	Nombre común	Nombre científico	Abund			[F]	[R]	
				Mat	Edif	Ene			
Passerifomes	Tityridae	Cabezón Degollado	Pachyramphus aglaiae			✓	6		
	Tyrannidae	Mosquerito Chillón	Camplostoma imberbe	ExS					
		Mosquerito Verdoso	Myiopagis viridicata			✓	7		
		Papamoscas Negro	Sayornis nigricans	ExS					
		Papamoscas Cardenalito	Pyrocephalus rubinus	A	A		7		
		Papamoscas Garganta Ceniza	Myiarchus cinerascens	MS	MS		7		
		Luis Bieruteveo	Pitangus sulphuratus			✓			
		Tirano Chibiú	Tyrannus vociferans	A	MS		7		
		Tirano Tijereta Rosado	Tyrannus forficatus	MS			8	✓	
	Laniidae	Verdugo Americano	Lanius ludovicianus	A			9		
	Hirundinidae	Golondrina Tijereta	Hirundo rustica	S	ExS		9		
	Troglodytidae	Saltapared Cola Larga	Thryomanes bewickii	S	MS				
		Matraca del Balsas	Campylorhynchus jocosus	A	S		9		
	Turdidae	Mirlo Dorso Canela	Turdus rufopalliatu		ExS				
	Mimidae	Cenzontle Norteño	Mimus polyglottos	ExS			9		
		Cuicacoche Pico Curvo	Toxostoma curvirostre	S	S		9		
	Ptiliogonatidae	Capulínero Negro	Phainopepla nitens	MS			9		
	Poliopitilidae	Perlita Azulgris	Poliopitila caerulea	S					
	Parulidae	Chipe Gorra Canela Común	Basileuterus rufifrons	ExS			10		
	Thraupidae	Semillero Rabadilla Canela	Sporophila torqueola	ExS	ExS				
	Passerellidae	Rascador Viejita	Melozona fusca	A	A		10		
		Zacatonero de Botteri	Peucaea botterii	S					
		Zacatonero Corona Canela	Aimophila ruficeps	ExS					
		Gorrion Barba Negra	Spizella atrogularis	S					
		Gorrion Arlequin	Chondestes grammacus	A			10		
		Gorrion Cantor	Melospiza melodia	MS					
		Cardinalidae	Picogordo Azul	Passerina caerulea	S			10	
		Icteridae	Pradero Altiplanero	Sturnella liliana	ExS			11	
			Calandria	Icterus sp.		ExS			
			Zanate Mayor	Quiscalus mexicanus	ExS	S			
	Tordo		Molothrus sp.		ExS				
	Fringillidae	Pinzón Mexicano	Haemorhous mexicanus	A	A		11		
	Jilguerito Dominicó	Spinus psaltria	S	MS		11			
Passeridae	Gorrion Doméstico	Passer domesticus	S	ExA		11			

Tabla 2. Especies de aves paseriformes observadas durante nuestros itinerarios de censo a través de los matorrales espinosos (Mat) y las áreas edificadas (Edif) del Ecocampus Valsequillo, ordenadas de acuerdo con la *checklist* de la *American Ornithological Society* (Chesser *et al.*, 2024). Leyenda: como en la Tabla 1.

de aves como el colibrí corona violeta (Foto 4) y el papamoscas cardenalito (Foto 7), entre otras.

AVES REGISTRADAS SOLO EN LAS ÁREAS EDIFICADAS

Aparentemente, el mirlo dorso canela y dos especies de aves que solo pudimos identificar hasta el nivel de género (una calandria y un tordo) fueron exclusivos de las áreas edificadas del Ecocampus (Tabla 2). En realidad, nuestras observaciones de estas aves fueron siempre fugaces y de un único individuo, por lo que son extremadamente escasas en este hábitat (y, muy probablemente, de carácter accidental).

REGISTROS NOTABLES

Durante nuestros itinerarios de censo en el Ecocampus registramos dos especies notables, siempre en las grandes extensiones cubiertas por los matorrales espinosos.

1. Gavilán de Cooper (Tabla 1). Es un Falconiforme que se reproduce en los bosques y otras áreas arboladas de América del Norte (Alderfer y Dunn, 2021). En las últimas décadas, su distribución y



Figura 5. Izquierda: carpintero del Balsas (*Melanerpes hypopolius*). Derecha: carpintero mexicano (*Dryobates scalaris*).

abundancia están creciendo en muchas regiones, incluido México (véase, por ejemplo, González Oreja *et al.*, 2019b). Ahora bien, la Norma Oficial Mexicana NOM-059, que identifica a las especies o poblaciones de flora y fauna silvestres en riesgo de extinción en nuestro país, considera al gavilán de Cooper como una especie sujeta a protección especial debido a que podría llegar a encontrarse amenazada de extinción por diversos factores que repercuten negativamente en la viabilidad de sus poblaciones. Por ello, la NOM-059, de observancia obligatoria en todo el territorio nacional, determina que es necesario propiciar su recuperación y conservación. En realidad, el gavilán de Cooper se suma a otros componentes de la biodiversidad del Ecocampus que también están incluidos en la NOM-059, como *Dasyllirion acrotrichum*, una planta de la familia Asparagaceae (amenazada), y *Tigridia huajuapensis*, una planta de la familia Iridaceae (sujeta a protección especial) (Dolores Silverio, 2024).

2. Tirano tijereta (Tabla 2, Foto 8). Es un Passeriforme que se reproduce en las zonas con vegetación abierta (como matorrales y praderas) del centro-sur de los Estados Unidos y el noreste de México, y que inverna en el sur de nuestro país y en Centroamérica; durante la migración otoñal puede observarse por la vertiente Atlántica de México al norte del Istmo de Tehuantepec (Alderfer y Dunn, 2021). No se incluye en la lista de especies en riesgo de la NOM-059. Según los registros disponibles hasta la fecha en la



Figura 6. Cabezón degollado (*Pachyramphus aglaiae*).

plataforma de ciencia ciudadana eBird (<https://ebird.org/home>), solamente se ha observado en dos localidades más del centro de nuestro estado, en sus desplazamientos migratorios tanto otoñales (Laguna de Chapulco y “Lago” de Valsequillo) como primaverales (“Lago” de Valsequillo). Así pues, nuestra observación en el Ecocampus se suma a los registros de la especie en el centro de Puebla.

OTRAS ESPECIES

Durante nuestro trabajo en el Ecocampus observamos también otras especies de aves fuera de los itinerarios de censo a través de los matorrales espinosos o de las áreas edificadas (Tablas 1 y 2).

Por un lado, en este grupo se encuentran varias especies de aves no Passeriformes, fáciles de observar en la vecina presa de Valsequillo, de donde sin duda proceden, como la garza morena (Foto 1) o el águila pescadora. En otros casos, son aves que pueden sobrevolar fácilmente grandes distancias, como el zopilote común, el zopilote aura (Foto 2), el milano cola blanca (Foto 2) y la aguililla cola roja (Foto 2), y que solo registramos en trayectorias de vuelo a alturas variables sobre uno u otro de los hábitats considerados.

Es el caso, también, del chotacabras menor, de quien (en nuestra prospección inicial) encontramos un adulto en un nido activo con dos pollos emplumando



Figura 7. Arriba, izquierda: mosquerito verdoso (*Myiopagis viridicata*). Arriba, derecha: papamoscas cardenalito (*Pyrocephalus rubinus*). Abajo, izquierda: papamoscas garganta ceniza (*Myiarchus cinerascens*). Abajo, derecha: tirano chibí (*Tyrannus vociferans*).



Figura 8. Tirano tijereta rosado (*Tyrannus forficatus*).

y casi perfectamente camuflados contra la vegetación y el suelo (Foto 3).

Por otro lado, en este grupo se encuentran también varias especies de Passeriformes que solamente observamos en el bosque de encino del extremo más oriental del Ecocampus, como el cabezón degollado (Foto 6), el mosquerito verdoso (Foto 7) o el luis bienteveo.

REFLEXIONES FINALES

Varios autores han observado que, en un mundo cada vez más urbanizado, los campus universitarios



Figura 9. Arriba, izquierda: verdugo americano (*Lanius ludovicianus*). Arriba, derecha: golondrina tijereta (*Hirundo rustica*). Centro, izquierda: matraca del Balsas (*Campylorhynchus jocosus*). Centro, derecha: centzontle norteño (*Mimus polyglottos*). Abajo, izquierda: cuicacoche pico curvo (*Toxostoma curvirostre*). Abajo, derecha: capulinero negro (*Phainopepla nitens*).

y sus áreas verdes pueden realizar funciones importantes relacionadas con la educación, la investigación y la conservación de la biodiversidad (véase, por ejemplo, Sanllorente *et al.*, 2023 y referencias ahí citadas). A lo largo de nuestro trabajo de campo en el Ecocampus de la BUAP, que contribuye a la prospección y documentación inicial de su biodiversidad, ya hemos registrado 51 especies de aves más dos taxones identificados solo hasta género. Es más, los análisis de diversidad biológica que estamos realizando con nuestros datos de las aves del Ecocampus (con herramientas como curvas de acumulación de especies, estimadores de riqueza y diversidad, etc.) sugieren claramente que, al menos en relación con las aves de las extensiones de matorral espinoso, nuestro inventario todavía está incompleto, por lo que es necesario continuar con estudios como este.

En este sentido, será interesante analizar el efecto de los factores ambientales que influyen en los



Figura 10. Arriba, izquierda: chipe gorra canela común (*Basileuterus rufifrons*). Arriba, derecha: rascador viejita (*Melospiza fusca*). Abajo, izquierda: gorrión arlequín (*Chondestes grammacus*). Abajo, derecha: picogordo azul (*Passerina caerulea*).



Figura 11. Arriba, izquierda: pradero altiplanero (*Sturnella Illianae*). Arriba, derecha: pinzón mexicano (*Haemorhous mexicanus*). Abajo, izquierda: jilguero dominico (*Spinus psaltria*). Abajo, derecha: gorrión doméstico (*Passer domesticus*).

patrones de abundancia observados, así como contrastar nuestros datos con los de otras áreas de estudio y así poder determinar la singularidad de la avifauna del Ecocampus. Comoquiera que sea, los nuevos “habitantes” de CU2 podrán entrar en contacto con una biodiversidad de aves muy diferente de la que se encuentra en CU (González Oreja et al., 2019a; González Oreja, 2020).

Afortunadamente, conocer y disfrutar de las aves del Ecocampus Valsequillo está al alcance de todos, y para ello solamente tenemos que hacer uso de dos de nuestros sentidos: la vista y el oído.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es una contribución al Proyecto 10052 6497 -VIEP2024, financiado por la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado de la BUAP; Carlos Augusto Camacho Becerra disfrutó de una beca dentro del mismo proyecto.

Agradecemos a los doctores Andrés E. Estay Stange y A. Rosa Andrés Hernández, así como al maestro Francisco J. Jiménez Moreno, por su ayuda en diversas fases del proyecto. Y al doctor César A. Sandoval Ruiz, así como a los biólogos Itzel Callejas Flores, Mario Miranda Rodríguez y Janelle Tapia Castañeda, por su compañía en el campo.

REFERENCIAS

- Alderfer J and Dunn JL (2021). *Complete Birds of North America*. Third Edition. Washington: National Geographic Society.
- Chesser RT et al. (2024). *Check-list of North American Birds (online)*. American Ornithological Society. Recuperado de: <https://checklist.americanornithology.org/taxa/>.
- Cornell Laboratory of Ornithology (2014). *Merlin Bird ID*. Recuperado de: <https://merlin.allaboutbirds.org/>.
- Dolores Silverio A (2024). *Estudio de la diversidad florística del Ecocampus y Ecoparque Valsequillo BUAP*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas, BUAP. Puebla: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- González Oreja JA (2020). *Las Aves de la BUAP. Una Invitación a su Conocimiento*. Puebla: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- González Oreja JA, Jiménez Moreno FJ y García Chávez JH (2019a). Aves comunes en Ciudad Universitaria de la BUAP. *Elementos*, 114:47-53.
- González Oreja JA, Zuberogoitia I and Jiménez Moreno FJ (2019b). First record of Cooper hawk (*Accipiter cooperii*) breeding in Puebla, Mexico. *Journal of Raptor Research*, 53(2):215-219.
- González Oreja JA, Sandoval Ruiz CA y Jiménez Moreno FJ (2023). Mariposas y polillas del Jardín Botánico Universitario de la BUAP: un primer contacto. *Elementos*, 132:45-53.
- Sanllorente O et al. (2023). The importance of university campuses for the avian diversity of cities. *Urban Forestry and Urban Greening*, 86:128038.
- Tellería JL (1986). *Manual para el Censo de los Vertebrados Terrestres*. Madrid: Raíces.

José Antonio González Oreja
Carlos Augusto Camacho Becerra
Facultad de Ciencias Biológicas
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
jgonzorj@hotmail.com

Aviverso, el fascinante universo de las aves

Edson A. **Alvarez-Alvarez**

Desde sus orígenes como pequeños dinosaurios, las aves continúan siendo uno de los grupos más diversos y fascinantes en la historia de la Tierra.

La diversidad de aves que actualmente se conoce es resultado de un proceso que ocurre a lo largo de millones de años mediante la acumulación de cambios genéticos y la selección natural, conocido como “diversificación evolutiva”. Este proceso natural ha permitido a los organismos adaptarse y evolucionar para crear las formas de vida que actualmente se conocen (Brusatte *et al.*, 2015; Tobias *et al.*, 2020). En el caso de las aves, su diversificación se debe a su capacidad de adaptación, su especialización alimentaria, sus distintos comportamientos y la variedad de hábitats que ocupan.

Todas las personas conocen a las aves, pues las ven o las escuchan cualquier día y en cualquier parte, brincando entre los árboles, caminando en las calles, paradas en los cables, aleteando en los jardines, cantando al amanecer, nadando en los lagos o, simplemente, volando en el cielo (Figura 1). Hasta este punto, estaremos de acuerdo en que las aves son un grupo fácil de diferenciar del resto de los animales, pero ¿qué es exactamente lo que hace a un ave ser un ave?

Para empezar, se debe aclarar que, desde el punto de vista científico, el término “ave” hace referencia a dos cosas: la primera se refiere a una definición sencilla y, probablemente,

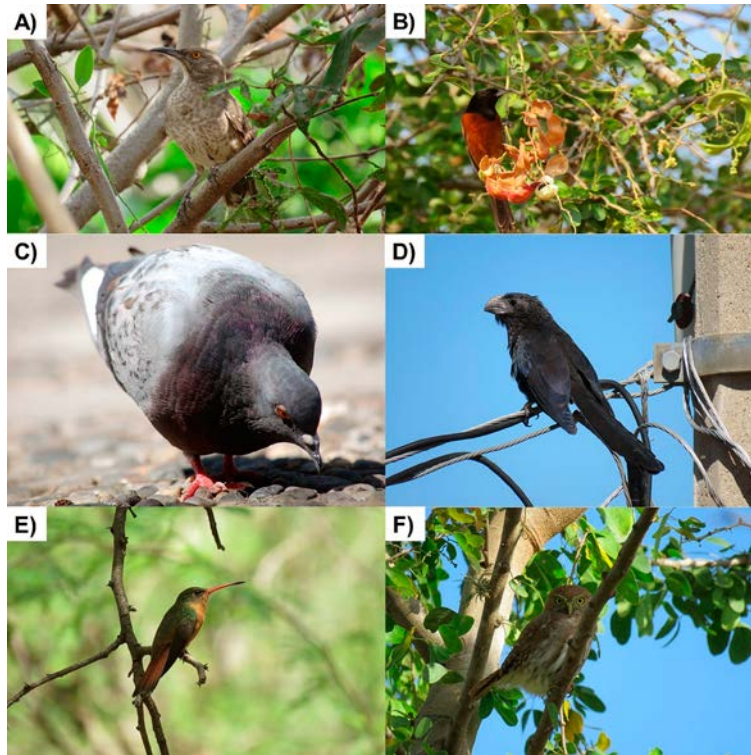


Figura 1. Aves en actividades cotidianas como alimentarse, caminar en las calles y descansar en las ramas o en los cables: A) cuicacoche pico curvo (*Toxostoma curvirostre*), B) calandria castaña (*Icterus spurius*), C) paloma doméstica (*Columba livia*), D) garrapatero pijuy (*Crotophaga sulcirostris*), E) colibrí canelo (*Amazilia rutila*) y F) tecolote bajoño (*Glaucidium brasilianum*). Fotografías: Ana I. López Flores (A, B, D, E, F) y Edson Alvarez (C).

la más conocida por cualquier persona: un ave es básicamente un animal que tiene un pico, dos alas y plumas. La segunda definición hace referencia a una categoría taxonómica propuesta por el botánico sueco Carlos Linneo.

Las aves, como cualquier otro organismo, están agrupadas o clasificadas en distintos niveles jerárquicos de acuerdo con su parentesco e historia evolutiva. Por ejemplo, la gallinita de monte, cuyo nombre científico es *Dendrortyx macroura*, se encuentra dentro de la familia Odontophoridae, la cual incluye a otros tipos de codornices; esta familia, a su vez, se encuentra dentro del orden Galliformes que, además de las codornices, incluye a otras aves como faisanes, chachalacas, perdices y pavos (Figura 2A). Otro ejemplo es el carpintero enmascarado (*Melanerpes chrysogenys*) que pertenece a la familia Picidae, la cual incluye a otros tipos de pájaros carpinteros; esta familia está dentro del orden Piciformes que, además de los carpinteros, incluye a otras aves como tucanes, tucanetas y tucancillos (Figura 2B; Chesser et al., 2024).

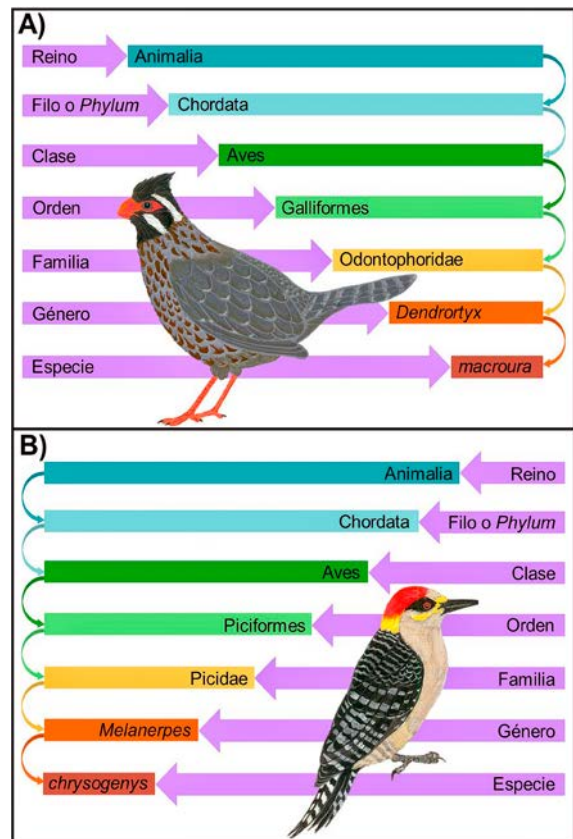


Figura 2. Ejemplos de la clasificación taxonómica de las aves. Las ilustraciones de las aves forman parte del banco de ilustraciones de aves del Laboratorio de Ecología y Biogeografía de la Conservación de la Universidad Autónoma de Guerrero.



Figura 3. Fotografías de aves que muestran la variedad de formas, tamaños y colores: A) cernícalo americano (*Falco sparverius*), B) jacana norteña (*Jacana spinosa*), C) carpintero lineado (*Dryocopus lineatus*), D) paloma alas blancas (*Zenaida asiatica*), E) saltapared barranqueño (*Catherpes mexicanus*) y F) chipecorona negra (*Cardellina pusilla*). Fotografías: Ana I. López Flores.

¿QUÉ RASGOS CARACTERIZAN A LAS AVES?

Existen características que las aves tienen en común con otros animales. Por ejemplo, de manera similar a los peces, los anfibios, los reptiles y los mamíferos, las aves son vertebrados, lo que significa que tienen una columna vertebral que sostiene, protege y permite el movimiento del cuerpo. Al igual que los mamíferos, las aves son endotérmicas o, como comúnmente se les conoce, son animales “de sangre caliente”. Esto quiere decir que pueden producir calor y regular su propia temperatura corporal. Otro rasgo es que, como otros vertebrados, las aves son ovíparas, es decir que se reproducen y nacen a partir de un huevo (Burnie, 2008).

Si bien las aves comparten estas características con el resto de los vertebrados, existen otros rasgos que hacen a las aves particularmente únicas o, en otras palabras, que hacen a un ave ser un ave. El primer rasgo y quizás el más conocido, son las alas. Estas estructuras permiten a las aves realizar movimientos aerodinámicos tan fascinantes que son más extraordinarias que las alas de los aviones, sencillamente, porque las aves pueden aletear, lo que

les permite maniobrar rápidamente y, en definitiva, desafiar la gravedad. Por ejemplo, los colibríes pueden permanecer suspendidos en el aire, los patos se sumergen y nadan, y halcones como el peregrino (*Falco peregrinus*) se lanzan en picada a una velocidad sorprendente que rebasa los 300 km/h.

Los picos son otras estructuras fascinantes y versátiles que han evolucionado para realizar una variedad de funciones esenciales para la supervivencia de las aves. Los picos de distintas formas, tamaños y colores están adaptados a las necesidades específicas de cada ave, como alimentarse de un sinfín de tipos de alimento como insectos, semillas, frutos, néctar, raíces, carne, entre otros. Los picos permiten manipular objetos como ramas, hojas y otros materiales para construir nidos o defender sus territorios.

También ayudan a las aves a limpiar su plumaje y eliminar ectoparásitos como garrapatas; finalmente, sirven para modular los sonidos que las aves emiten para comunicarse (Figura 3; Burnie, 2008; Williams, 2020).

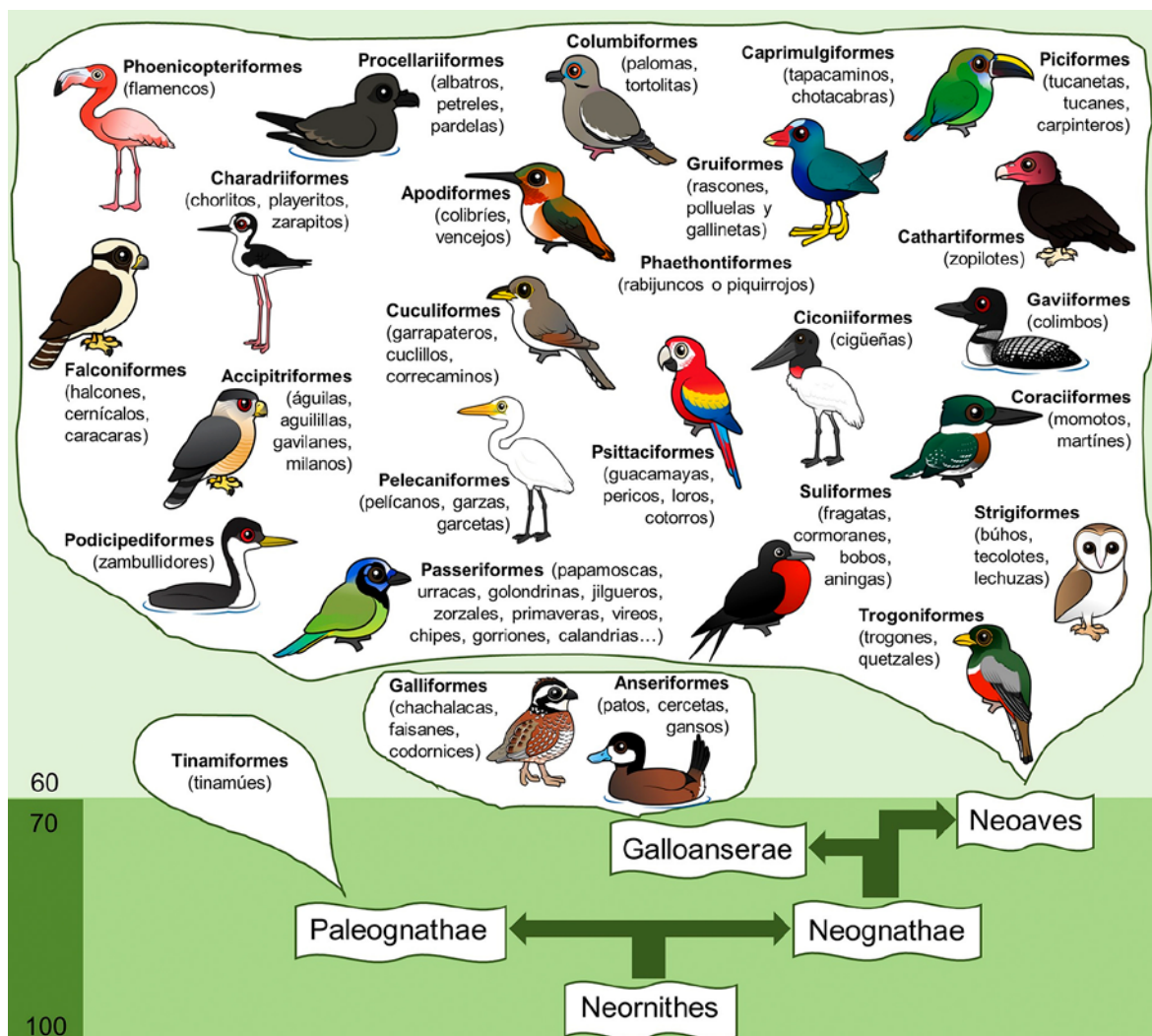


Figura 4. Árbol genealógico de las aves actuales o modernas. Los órdenes (-iformes) incluyen únicamente ejemplos de nombres comunes de algunas aves de México. La franja verde oscuro muestra el tiempo aproximado transcurrido en millones de años. Las ilustraciones de las aves forman parte de la sección "Meet the Birds" del sitio web *Birdorable*: www.birdorable.com/.

A diferencia de cualquier otro animal, las aves son los únicos organismos que presentan plumas (Figura 3). Cuando pensamos en plumas, seguramente lo primero que se te viene a la mente es que solo sirven para volar. Pero las plumas son más importantes de lo que parecen, pues ayudan a las aves a encontrar pareja y regular la temperatura. En algunas especies, los patrones de coloración de las plumas les permiten camuflarse y reducir la detección por parte de los depredadores. Similar a los picos y a las garras, las plumas están hechas a partir de una proteína llamada "queratina". Las plumas presentan un sinfín de colores y tonalidades debido a distintos tipos de

pigmentos llamados carotenoides, melaninas, porfirinas, psitacofulvinas y esfecinas. Estos pigmentos se obtienen cuando las aves consumen algún tipo de materia vegetal o son determinados genéticamente. También existen otros tipos de plumas que, debido a su estructura microscópica, originan una ilusión óptica a partir de la refracción o dispersión de la luz solar. A este fenómeno se le conoce como "iridiscencia", y produce una apariencia colorida que varía en función del ángulo de visión, como sucede en el plumaje de los colibríes (Inaba y Cheng-Ming, 2020).

Otro rasgo único de las aves son sus huesos huecos fuertes y llenos de aire. Además de las alas, este tipo de huesos hacen que las aves sean capaces de volar. La razón principal de esto es que los



Figura 5. Hábitats donde se pueden encontrar las aves: (A y B) bosques y selvas, (C y D) áreas agropecuarias, (E) asentamientos humanos y (F) ambientes acuáticos. Fotografías: Edson Alvarez (A, B, C, D y E) y Angel N. Osorio Rodríguez (F).

huesos se conectan con el sistema respiratorio. Esto origina que haya una mayor circulación de aire en ellos, aumentando la “flotabilidad” o la capacidad de volar de las aves (Burnie, 2008).

AVES AQUÍ, ALLÁ Y POR DOQUIER

Se estima que actualmente hay cerca de 10,500 especies de aves en todo el mundo, de las cuales aproximadamente 1,150 (cerca del 11 % del total mundial) se pueden encontrar en el territorio mexicano (Navarro-Sigüenza *et al.*, 2014). Pero lo importante no es saber cuántas especies hay, sino por qué hay tantas especies de aves aquí, allá y por doquier.

La gran diversidad de aves se debe a una combinación de factores biológicos, ecológicos, fisiográficos y evolutivos. En primera instancia, esto quiere decir que las aves han pasado por varios eventos de cambios a lo largo de su evolución, como la diversificación después de la extinción del Cretácico o la evolución de los Passeriformes.

Desde el surgimiento de las aves modernas en el Cretácico tardío hace 66-70 millones de años, en un grupo conocido como Neornithes, las aves han desarrollado características adaptativas como cambios en sus picos, plumaje, alimentación o en sus formas

de vuelo, que les han permitido explorar muchos ambientes. Con el paso de millones de años, este grupo dio origen a tres grandes familias o clados de aves, conocidas como Paleognathae (que incluye a los tinamúes), Galloanserae (que incluye a las chachalacas, los faisanes, las codornices, los patos, las cercetas y los gansos) y Neoaves (que incluye al resto de las aves vivas) (Figura 4; Stiller *et al.*, 2024; Wu *et al.*, 2024). Otra razón de la amplia diversidad de aves es que estas a menudo se ven afectadas por barreras geográficas como montañas o mares.

Esto hace que las poblaciones de una misma especie queden aisladas, y con el paso del tiempo, estas poblaciones aisladas evolucionan de manera independiente y dan lugar a nuevas especies. Este fenómeno conocido como “especiación”, es un motor clave de la evolución de las aves (Escalante *et al.*, 1993; Tobias *et al.*, 2020). Las aves habitan una gran variedad de hábitats, como bosques, selvas, desiertos, polos, lagos, mares e, incluso, se pueden observar en áreas agropecuarias y asentamientos humanos (Figura 5). A esta característica se le conoce como “cosmopolitismo”, es decir, que las aves se pueden encontrar en cualquier parte del planeta o, en otras palabras, que tienen una amplia distribución geográfica y ecológica. Esta diversidad de hábitats ofrece muchas oportunidades para la especialización, lo que resulta en la aparición de especies adaptadas a condiciones muy específicas.

EN RESUMEN...

Las aves tienen una notable capacidad para adaptarse a los cambios de su entorno, lo que les ha permitido sobrevivir y prosperar en diferentes momentos de la



© Rafael Pareja. De la serie *Nuestras manos*, 2018.

historia evolutiva. Por ejemplo, tras la extinción de los dinosaurios y las aves primitivas, muchas especies de aves sobrevivieron y se diversificaron en las nuevas especies que actualmente se conocen.

Es decir, las aves actuales son un grupo particular de dinosaurios; por lo tanto, cualquier ave que se presente ante tus ojos es, de alguna manera, un dinosaurio vivo que forma parte del fascinante universo de las aves: el aviverso.

REFERENCIAS

Brusatte SL, O'Connor JK and Jarvis ED (2015). The origin and diversification of birds. *Current Biology* 25:888-898.

Burnie D (2008). *Bird*. USA: DK Publishing Inc.

Chesser RT, Billerman SM, Burns KJ, Cicero C, Dunn JL, Hernández-Baños BE, Jiménez RA, Johnson O, Kratter AW, Mason NA, Rasmussen PC, Remsen, Jr JV (2024). Check-list of North American Birds (online). American Ornithological Society. Recuperado de: <https://checklist.americanornithology.org/>.

Escalante PP, Navarro-Sigüenza AG and Peterson AT (1993). A geographic, ecological, and historical analysis of land bird diversity in Mexico.

In Ramamoorthy TP, Bye R y Lot A (Eds.), *Biological diversity of Mexico: origins and distribution* (pp. 281-307). Oxford University Press, USA.

Inaba M and Cheng-Ming C (2020). Avian pigment pattern formation: developmental control of macro (across the body) and micro- (within a feather) level of pigment patterns. *Frontiers in Cell Developmental Biology* 8:620.

Navarro-Sigüenza AG, Rebón-Gallardo MF, Gordillo-Martínez A, Peterson AT, Berlanga-García H y Sánchez-González LA (2014). Biodiversidad de aves en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85:476-495.

Stiller J, Feng S, Chowdhury A-A et al. (2024). Complexity of avian evolution revealed by family-level genomes. *Nature* 629:851-860.

Tobias JA, Ottenburghs J and Pigot A (2020). Avian diversity: speciation, macroevolution, and ecological function. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 51:533-560.

Williams TD (2020). *What is a bird? An exploration of anatomy, physiology, behavior, and ecology*. Princeton University Press, USA.

Wu S, Rheindt FE, Zhang J, Wang J, Zhang L, Quan C, Li Z, Wang M, Wu F, Qu Y, Edwards SV, Zhou Z and Liu L (2024). Genomes, fossils, and the concurrent rise of modern birds and flowering plants in the Late Cretaceous. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 121:e2319696121.

Edson A. Alvarez-Alvarez
Departamento de Fortalecimiento a la Investigación
e Innovación Tecnológica
Consejo de Ciencia
Tecnología e Innovación del Estado de Guerrero
alvarez.ea@outlook.com

Mecanismos cooperativos en la comunicación bacteriana

Esmeralda **Escobar Muciño**

Desde la década de 1970 la ciencia se maravilló con un descubrimiento sorprendente en el fondo marino, que consistía en que la bacteria *Vibrio harveyi* era capaz de producir bioluminiscencia. Este hallazgo reveló no solo un fenómeno fascinante, sino también el posible papel ecológico de esta bacteria en la simbiosis con animales marinos como los calamares (Hastings y Greenberg, 1999). En esta relación simbiótica, *Vibrio* se aloja en los órganos de luz del calamar, que son estructuras que ofrecen condiciones óptimas para el crecimiento de *Vibrio*. Una vez que la bacteria se multiplica dentro de estos órganos, las colonias bacterianas pueden emitir luz, lo que permite al calamar camuflarse mediante un fenómeno conocido como “contrailuminación”, una estrategia que elimina su sombra y lo hace menos visible para los depredadores. A cambio, *Vibrio* recibe un ambiente nutritivo y protegido (Schramm y Weiß 2024).

Entre 1970 y 1980, se descubrió que la bioluminiscencia bacteriana requiere una cantidad mínima de individuos para ser perceptible. Este fenómeno está mediado por moléculas especializadas, como la N-3 (oxo-hexanoil)-homoserina lactona, perteneciente a la familia de compuestos conocidos como autoinductores. Estas moléculas permiten a las bacterias comunicarse y coordinar su comportamiento dentro de la colonia; a medida que aumenta su concentración, se activa una respuesta colectiva que puede culminar en

la producción de bioluminiscencia u otros procesos bacterianos, dependiendo del modelo bacteriano estudiado (Schramm y Weiß 2024).

A partir de estos hallazgos se produjo un crecimiento exponencial en la cantidad de estudios que caracterizaron las moléculas autoinductoras en diversas bacterias, lo que llevó a la creación de una vasta base de datos sobre sus estructuras químicas (Joint, 2006; Rajput *et al.*, 2016). Así se descubrió que los autoinductores varían ampliamente y se agrupan en distintas familias. Estas moléculas facilitan la comunicación entre bacterias que interactúan con animales y plantas, permitiendo identificar nuevas variantes y ampliar el conocimiento sobre sus estructuras químicas (Rajput *et al.*, 2016). Paralelamente, se desarrollaron estrategias para estudiar el efecto de los autoinductores, tanto en las bacterias que los producen como en otras especies; de hecho, una de las preguntas más interesantes ha sido si bacterias de distintos géneros pueden responder a señales químicas ajenas (Joint, 2006; Rajput *et al.*, 2016).

Una característica fundamental de los autoinductores es su pequeño tamaño, lo que les permite difundirse con facilidad desde la célula bacteriana hacia el entorno. Esta capacidad facilita su entrada en bacterias vecinas por difusión pasiva o mediante proteínas receptoras específicas embebidas en la pared celular. No obstante, los mecanismos de detección varían según el tipo de autoinductor (Joint, 2006; Rajput *et al.*, 2016).

De acuerdo con la base de datos de SigMol, se han identificado más de 182 moléculas autoinductoras únicas, distribuidas en bacterias, hongos, levaduras y arqueas. Entre las principales familias de autoinductores se encuentran: las acil homoserina lactonas (AHLS), dicetopiperazinas, factores difusibles de la señalización, autoinductores peptídicos, indol, tirosol, oxilipinas y quinolonas, acil homoserina lactonas modificadas, el autoinductor-2 (AI-2) y el autoinductor-3 (AI-3) (Joint, 2006; Rajput *et al.*, 2016). Es así como las bacterias gramnegativas son capaces de producir autoinductores de

la familia de las AHLS, el (AI-2) y el (AI-3), mientras que las bacterias grampositivas producen autoinductores peptídicos o dicetopiperazinas. También, se ha identificado la producción de las AHLS y el AI-2 en microorganismos extremófilos que han sido aislados a partir de diferentes regiones inhóspitas del planeta; como ejemplos, los halófilos que toleran entre 20 y 30 % de sal, los termófilos e hipertermófilos, que resisten temperaturas de 60 a 110 °C, y los acidófilos adaptados a pH bajos (Rajput *et al.*, 2016).

Las arqueas fueron los últimos organismos en los que se identificaron moléculas autoinductoras, un hallazgo inesperado que reveló su capacidad para producir AHLS, dicetopiperazinas y N-carboxil-AHLS (Abbamondi *et al.*, 2019). Todas estas moléculas se consideran metabolitos secundarios. Cuando alcanzan un umbral de concentración, pueden ser cuantificadas en laboratorio mediante cepas bacterianas biosensoras que cambian de color al entrar en contacto con los autoinductores. Algunos ejemplos de estos sistemas biosensores son *Chromobacterium violaceum* CV026 y algunas variantes de *Agrobacterium tumefaciens* como *A. tumefaciens* NTL4 (pZLR4) y *A. tumefaciens* NTL4 (pCF218; pCF372) (Abbamondi *et al.*, 2019).

PROTEÍNAS CLAVE EN LA COMUNICACIÓN BACTERIANA

En el mecanismo de QS (de *Quorum Sensing*, mecanismo de comunicación entre bacterias que les permite ajustar su comportamiento en función de la densidad de su población) existen dos proteínas esenciales: la encargada de sintetizar los autoinductores (LuxI) y la proteína receptora de moléculas autoinductoras (LuxR). Cada grupo de bacterias posee su propio conjunto específico de estas proteínas que se conocen como proteínas LuxI/LuxR homólogas (Joint, 2006; Rajput *et al.*, 2016).

Con el tiempo se ha descubierto que algunas bacterias han perdido la capacidad de producir autoinductores, pero aún conservan proteínas capaces de detectarlos y activar ciertos procesos biológicos en respuesta a señales generadas por bacterias vecinas. Para estos casos, se ha identificado una familia

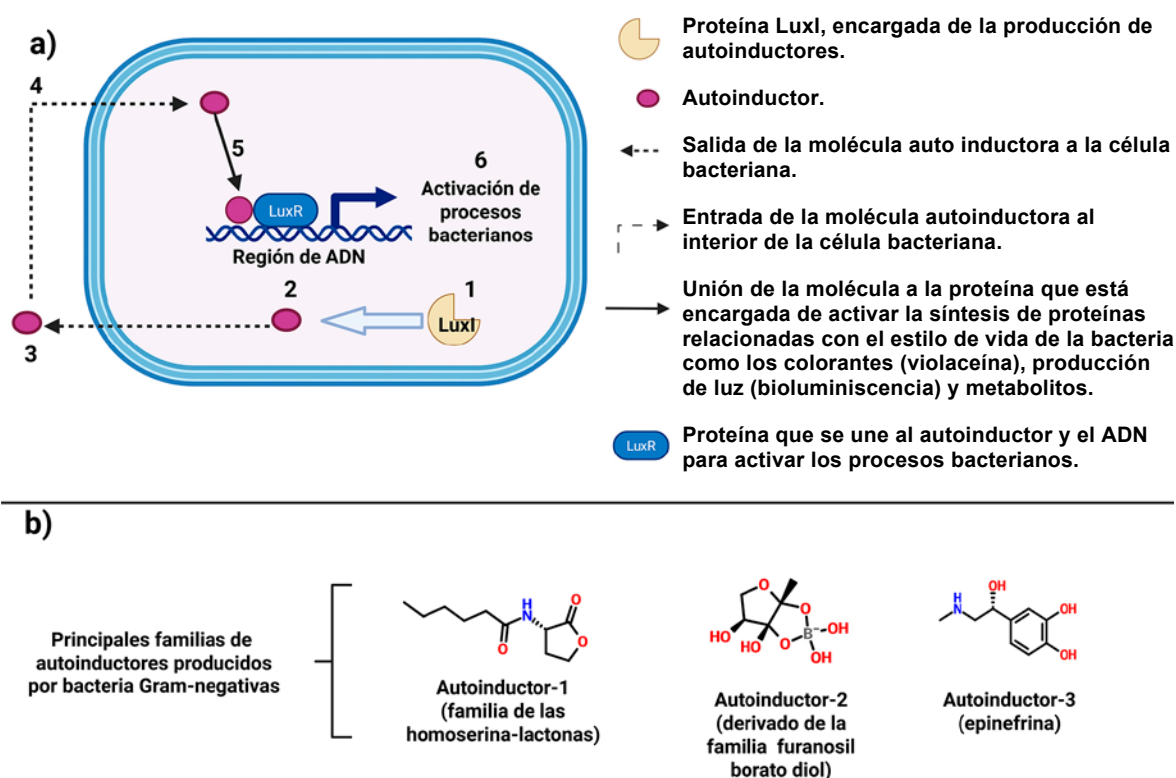


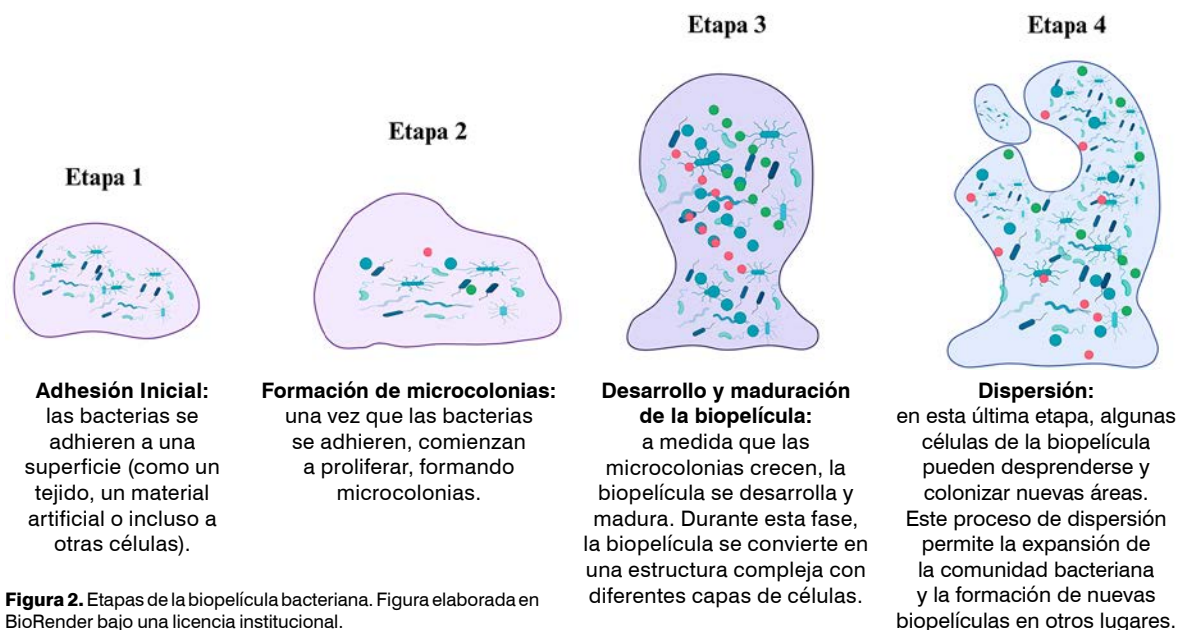
Figura 1. Mecanismos de QS. a) Bacterias gramnegativas. B) principales moléculas autoinductoras producidas por bacterias. Figura elaborada en BioRender bajo una licencia institucional.

especializada conocida como proteínas LuxR-solo o huérfanas, inicialmente descrita en *Escherichia coli*. Además, se ha documentado un fenómeno fascinante: la comunicación entre reinos, es decir, la interacción entre bacterias y células de organismos superiores como los mamíferos. Un ejemplo paradigmático es el descubrimiento del AI-3 en la cepa patógena de *E. coli* EHEC. Este autoinductor forma parte de un sistema de QS que regula la comunicación entre la bacteria y el intestino del huésped. El proceso es mediado por un sistema de dos proteínas sensoras, QseB y QseC, capaces de detectar moléculas de origen mamífero como la epinefrina y la norepinefrina. La detección de estas señales desencadena respuestas bacterianas relacionadas con la virulencia (Rajput *et al.*, 2016; Minoru *et al.*, 2023). En la Figura 1, se esquematiza, paso a paso, el mecanismo de QS en bacterias gramnegativas, desde la síntesis de los autoinductores hasta la activación de procesos como la formación de biopelículas, la expresión de factores de virulencia o la producción de metabolitos secundarios.

EL QS Y LOS COMPORTAMIENTOS COOPERATIVOS ENTRE BACTERIAS

Tras el descubrimiento del QS, las moléculas autoinductoras y los numerosos procesos bacterianos regulados por este mecanismo, surgieron nuevas definiciones y enfoques que ampliaron la comprensión del comportamiento microbiano. Una de las respuestas más relevantes fue considerar que microorganismos como las bacterias son capaces de exhibir comportamientos sociales. A este fenómeno se llamó “sociomicrobiología”, un campo emergente que ha captado gran interés en la comunidad científica (Xavier, 2016).

El atractivo en esta área radica en comprender cómo actúan las colonias bacterianas, mediante comportamientos cooperativos como la formación de biopelícula, la producción de sideróforos, pigmentos, bioluminiscencia, antibióticos y enzimas extracelulares. Estos productos permiten a las bacterias



interactuar e incluso invadir organismos superiores como plantas y animales, y su producción está estrechamente regulada por el QS, lo que permite una sincronía colectiva en su liberación o activación.

Además de los comportamientos cooperativos, la sociomicrobiología ha identificado otros patrones de conducta entre las bacterias, como actitudes altruistas, egoístas o incluso antagonistas, que se manifiestan, por ejemplo, en la inhibición del crecimiento de otras bacterias competidoras o en la liberación de toxinas. Estos comportamientos han reforzado la visión de que el mundo microbiano es sumamente complejo, y que sus dinámicas sociales tienen un papel crucial en su supervivencia, adaptación y evolución.

Como resultado, la sociomicrobiología se ha consolidado como un campo interdisciplinario clave para comprender los mecanismos moleculares que subyacen a estas interacciones, con implicaciones importantes en la salud humana, agricultura y ecología microbiana (Xavier, 2016).

EL QS REGULA EL ALTRUISMO ENTRE LAS BACTERIAS

A medida en que se profundizó en el estudio de QS, los investigadores centraron su atención en entender cómo este mecanismo regula los comportamientos

cooperativos entre bacterias mediante la detección de señales químicas emitidas por otras bacterias. Esta capacidad de percibir y responder a las moléculas autoinductoras permite la coordinación de respuestas colectivas que, en muchos casos, benefician al conjunto de la comunidad bacteriana. Un ejemplo claro de ello es la producción de sideróforos, compuestos que captan hierro del ambiente y que pueden ser aprovechados por bacterias vecinas (O'Brien *et al.*, 2017).

Sin embargo, desde una perspectiva individual, este tipo de cooperación conlleva un costo energético significativo, lo que ha llevado a clasificar estos productos bacterianos como “bienes públicos”, es decir, un recurso que está disponible para todos los individuos de una población.

Dentro de esta dinámica existen bacterias denominadas “tramposos sociales”; que no producen estos compuestos, pero sí se benefician de ellos, aumentando su población en situaciones de ventaja sin invertir recursos (Xavier, 2016; O'Brien *et al.*, 2017). Además, se ha observado que la diversidad fenotípica dentro de las poblaciones bacterianas favorece estos comportamientos cooperativos, donde subpoblaciones productoras comparten ciertos rasgos y recursos con otras no productoras. Esta cooperación resulta ser adaptativamente beneficiosa a largo plazo, pues potencia la supervivencia colectiva

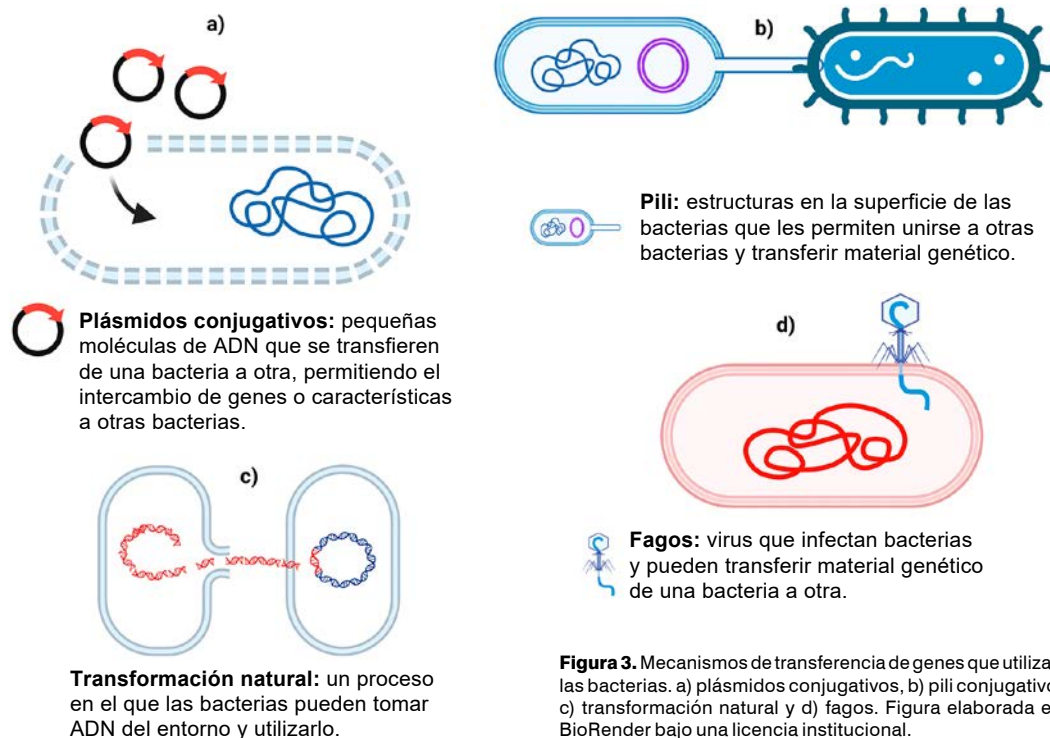


Figura 3. Mecanismos de transferencia de genes que utilizan las bacterias. a) plásmidos conjugativos, b) pili conjugativo, c) transformación natural y d) fagos. Figura elaborada en BioRender bajo una licencia institucional.

y promueve ventajas evolutivas como la producción de enzimas extracelulares, la evasión del sistema inmune del huésped y, especialmente, la formación de biopelícula (Schröter y Dersch, 2019).

Este último proceso es de gran relevancia ecológica y médica. Las biopelículas consisten en comunidades de microorganismos adheridas a una superficie, encapsulados dentro de una matriz extracelular rica en polímeros, proteínas, azúcares y ácidos nucleicos. Esta estructura protege y permite a las bacterias sobrevivir en condiciones adversas y facilita la cooperación entre ellas. En la Figura 2 se muestran las cuatro etapas principales de la formación de biopelícula: adherencia inicial, formación de microcolonias, maduración de la biopelícula y dispersión celular.

La biopelícula juega un papel importante, ya que es el lugar donde se llevan a cabo eventos de transferencia de genes a través de una gran variedad de mecanismos que incluyen plásmidos conjugativos, pili conjugativo, transformación natural, fagos, entre otros. En la Figura 3 se muestran los mecanismos de transferencia de genes que usan las bacterias.

Otra característica importante de la biopelícula es que favorece la cercanía física entre las células

microbianas, lo que incrementa la cooperación y la selección de genes que codifican funciones esenciales relacionadas con los bienes públicos. De este modo, los genes de bacterias altruistas pueden propagarse en diferentes comunidades microbianas (Lee *et al.*, 2022). Entre las moléculas que comparten las bacterias y que son consideradas como bienes públicos están los sideróforos, las enzimas (como las degradadoras de la pared celular y las enzimas oxidativas), los biosurfactantes, los componentes de la matriz de la biopelícula, los autoinductores, las proteínas bacterianas del tipo LuxR que detectan al autoinductor a cierta concentración, así como las bacteriocinas y las toxinas. El hecho de compartir estos recursos desemboca en la aparición de microorganismos que, para su crecimiento, dependen totalmente del suministro ambiental de ciertos nutrientes (Cavaliere *et al.*, 2017).

DINÁMICAS DE COOPERACIÓN Y ALTRUISMO BACTERIANO

Los comportamientos metabólicos cooperativos son fundamentales en las comunidades bacterianas

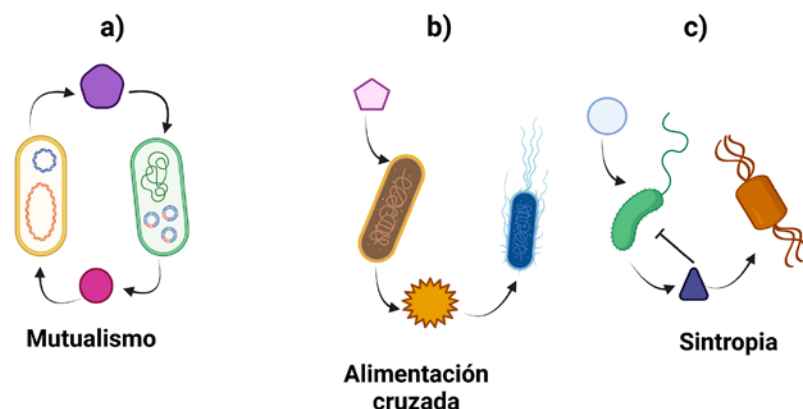


Figura 4. Dinámicas de cooperación en poblaciones microbianas. Figura elaborada en BioRender bajo una licencia institucional.

y representan una de las formas más evidentes de interacción social microbiana. Ejemplos representativos de estas dinámicas incluyen el mutualismo, la alimentación cruzada y la sintropía.

Durante una interacción mutualista, dos o más especies bacterias producen metabolitos que sirven para mantener a las especies interactuantes, lo que garantiza la supervivencia y estabilidad de la comunidad. Este tipo de interacción proporciona un “bien común metabólico”, esencial para mantener relaciones cooperativas sostenidas y mejorar la supervivencia.

La alimentación cruzada, implica una relación más directa, en la cual una bacteria depende del metabolismo de otra para obtener compuestos necesarios para su crecimiento, siendo un proceso clave en la interacción de las comunidades bacterianas. En este contexto, existen metabolitos intermedios o tóxicos, que son eliminados del entorno por otra bacteria que los consume o transforma, disminuyendo la toxicidad y promoviendo el crecimiento conjunto.

Por su parte, la sintropía representa un nivel más complejo de cooperación, en el que una bacteria produce metabolitos o modifica las condiciones del entorno en beneficio de otra especie bacteriana. Sin embargo, esta acción puede acarrear consecuencias negativas para la bacteria altruista, incluso provocando la muerte (Cavaliere *et al.*, 2017). En la Figura 4 se ejemplifican los principales comportamientos metabólicos y altruistas de las bacterias.

Si pudiéramos observar a escala molecular lo que ocurre en un huésped, en el medio de cultivo o en el entorno natural, se evidenciaría un intenso intercambio de metabolitos, autoinductores, proteínas e incluso sustancias que aún no han sido identificadas en las bacterias. Estas interacciones invisibles, pero vitales, representan un campo de gran interés para la microbiología moderna, ya que podrían revelar nuevos compuestos bioactivos y mecanismos de interacción clave para el equilibrio de los ecosistemas, además de tener potencial aplicación en biotecnología y medicina.

En muchos casos, estas interacciones son desencadenadas por actos altruistas entre las bacterias o como una respuesta a amenazas generadas por microorganismos oportunistas o patógenos que no benefician a la comunidad. Estos intercambios moleculares son fundamentales para la supervivencia y adaptación de las bacterias a su entorno. Los cambios moleculares, como los mostrados en la Figura 5, son esenciales para la supervivencia, adaptación y éxito ecológico de las bacterias.

QS Y FUTURAS APLICACIONES EN BIOTECNOLOGÍA, MEDICINA Y AGRICULTURA

Comprender los mecanismos de comunicación y cooperación bacteriana representa un reto importante, pero también una oportunidad valiosa para ampliar el conocimiento sobre la vida microbiana. Este entendimiento promete impulsar el desarrollo de aplicaciones innovadoras en áreas como la biotecnología, medicina y agricultura.

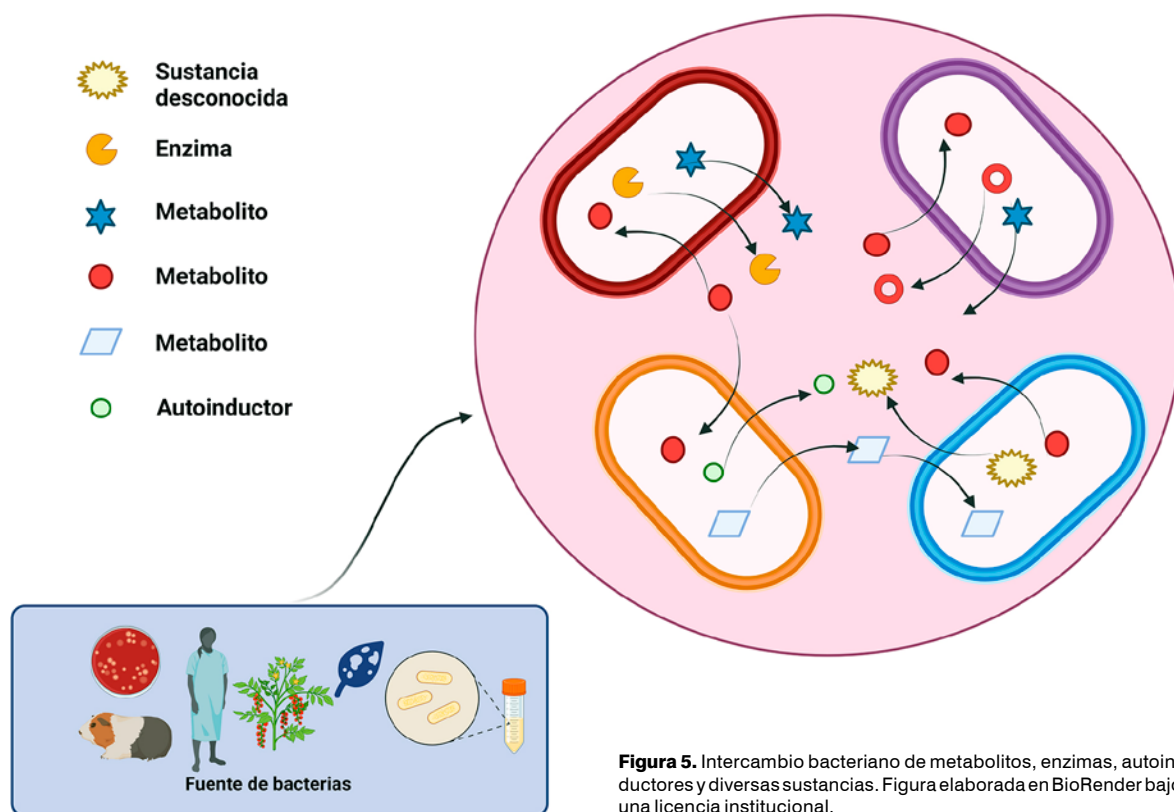


Figura 5. Intercambio bacteriano de metabolitos, enzimas, autoinductores y diversas sustancias. Figura elaborada en BioRender bajo una licencia institucional.

En el ámbito biotecnológico, el conocimiento del sistema de QS en bacterias que forman parte de consorcios microbianos, utilizados en la digestión de lodos activados, podría ser clave para optimizar estos procesos. Un ejemplo concreto es la posibilidad de regular la producción de enzimas degradativas que aceleren la descomposición de la materia orgánica, mejorando así la eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales (Abbamondi *et al.*, 2019).

Desde una perspectiva médica, la estrecha relación entre el QS y la expresión de factores de virulencia en bacterias patógenas ha despertado gran interés. La interrupción de estos sistemas mediante inhibidores de QS de origen natural o sintético, constituye una estrategia prometedora dentro del desarrollo de nuevas terapias antimicrobianas.

Esta aproximación es particularmente relevante frente al creciente problema de las bacterias multirresistentes, responsables de infecciones de origen oral, oftálmico o gastrointestinal, tanto en seres humanos como en animales destinados al consumo humano (Abbamondi *et al.*, 2019).

En el campo de la agricultura, el estudio de los sistemas QS que emplean bacterias simbióticas o patógenas asociadas al suelo y a las plantas tiene un alto potencial. Esta información permite promover el crecimiento vegetal, mejorar estrategias de biocontrol, e incluso disminuir la virulencia y patogenicidad de microorganismos fitopatógenos, contribuyendo así a una agricultura más sostenible y ecológica, que promueva el crecimiento de los cultivos, facilite el biocontrol y reduzca la virulencia y los efectos patogénicos (Abbamondi *et al.*, 2019).

CONCLUSIONES

Aunque a simple vista las bacterias pueden parecer seres aislados y simples, su mundo es mucho más complejo de lo que imaginamos. Estas diminutas formas de vida no solo sobreviven en casi todos los rincones del planeta, sino que también han desarrollado intrincados sistemas de comunicación para colaborar entre sí. Esta capacidad de interacción ha



© Rafael Pareja. De la serie *Nuestras manos*, 2018.

dado origen a una nueva disciplina conocida como sociomicrobiología, que estudia los comportamientos sociales de los microorganismos, especialmente aquellos regulados por sistemas de comunicación química como el QS, que es regulado por la producción de autoinductores. Por medio de estas moléculas, las bacterias “hablan” unas con otras e incluso se comunican con los animales y las plantas, con la finalidad de coordinar comportamientos cooperativos que favorecen la supervivencia y la colonización. Entender los mecanismos de comunicación bacteriana puede ayudar a obtener nuevas aplicaciones biotecnológicas, médicas e industriales, abriendo

la puerta al desarrollo de innovaciones que resulten en patentes.

En resumen, comprender la dimensión social de las bacterias no solo transformará la visión sobre los microorganismos, sino que también redefinirá cómo enfrentamos enfermedades aprovechando las capacidades bacterianas y, como consecuencia, se diseñarán soluciones a los desafíos globales que implican las bacterias en salud y medio ambiente.

AGRADECIMIENTO

Al SECIHTI, por otorgar la beca de estancia postdoctoral (CVU 406969).

R E F E R E N C I A S

- Abbamondi GR, Kambourova M, Poli A, Finore I and Nicolaus B (2019). Quorum sensing in extremophiles. *Quorum Sensing. Academic Press*, 97-123.
- Cavaliere M, Feng S, Soyer OS, Jiménez JI (2017). Cooperation in microbial communities and their biotechnological applications. *Environmental Microbiology* 19(8):2949-2463.
- Joint I (2006). Bacterial conversations: talking, listening and eavesdropping. A NERC discussion meeting held at the Royal Society on 7 december 2005. *Journal of The Royal Society Interface* 3(8):459-63.
- Lee IPA, Eldakar OT, Gogarten JP and Andam CP (2022). Bacterial cooperation through horizontal gene transfer. *Trends in Ecology & Evolution* 37(3):223-32.
- Kanehisa M, Furumichi M, Sato Y *et al* (2023). KEGG for taxonomy-based analysis of pathways and genomes. *Nucleic Acids Research* 51(1):587-592.
- O'Brien S, Luján AM, Paterson S *et al* (2017). Adaptation to public goods cheats in *Pseudomonas aeruginosa*. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 284(1859):1-8.
- Rajput A, Kaur K and Kumar M (2016). SigMol: repertoire of quorum sensing signaling molecules in prokaryotes. *Nucleic Acids Research* 44(1):634-639.
- Schramm S and Weiß D (2024). Bioluminescence—the vibrant glow of nature and its chemical mechanisms. *ChemBioChem* 25(9):1-40.
- Schröter L and Dersch P (2019). Phenotypic diversification of microbial pathogens-cooperating and preparing for the future. *Journal of Molecular Biology* 431(23):4645-4655.
- Xavier JB (2016). Sociomicrobiology and pathogenic bacteria. *Microbiology Spectrum* 4(3):1-16.

Esmeralda Escobar Muciño
Instituto Potosino de Investigación Científica y
Tecnológica A.C.
esmeralda.escobar@ipicyt.edu.mx

Sclerotium rolfsii: una amenaza para los cultivos agrícolas que empeora con el cambio climático

Miriam Angélica **Cordero Burgos**
José Antonio **Cervantes Chávez**

Se estima que una de cada diez personas en el mundo sufre hambre; esto se debe a diversas causas que incluyen el crecimiento acelerado de la población, el calentamiento global, el cambio en el uso de suelo y las pérdidas en los cultivos agrícolas. Los sistemas agrícolas enfrentan diferentes amenazas que se deben tanto a factores abióticos (contaminación del suelo por metales, sequía, salinidad, inundaciones, variaciones extremas de la temperatura), como a factores bióticos (plagas y enfermedades). Las pérdidas en el rendimiento de los principales cultivos agrícolas provocadas por las enfermedades rondan entre el 20 y el 40 %. Según las estadísticas, los hongos tienen un papel considerable en cuanto a las pérdidas económicas producidas en los cultivos agrícolas (Moore *et al.*, 2020).

Sclerotium rolfsii es un hongo fitopatógeno que se transmite por el suelo y es capaz de infectar a una amplia variedad de plantas de interés hortícola y agrícola; actualmente se conocen cerca de 600 especies susceptibles a su ataque (Mehdi-Khanlou, 2016). Sin embargo, la lista continuamente se amplía, dado el incremento global de la temperatura, ya que este hongo habita principalmente en lugares cálidos y húmedos como las zonas tropicales y subtropicales. *S. rolfsii* ocasiona diferentes tipos de enfermedades como la

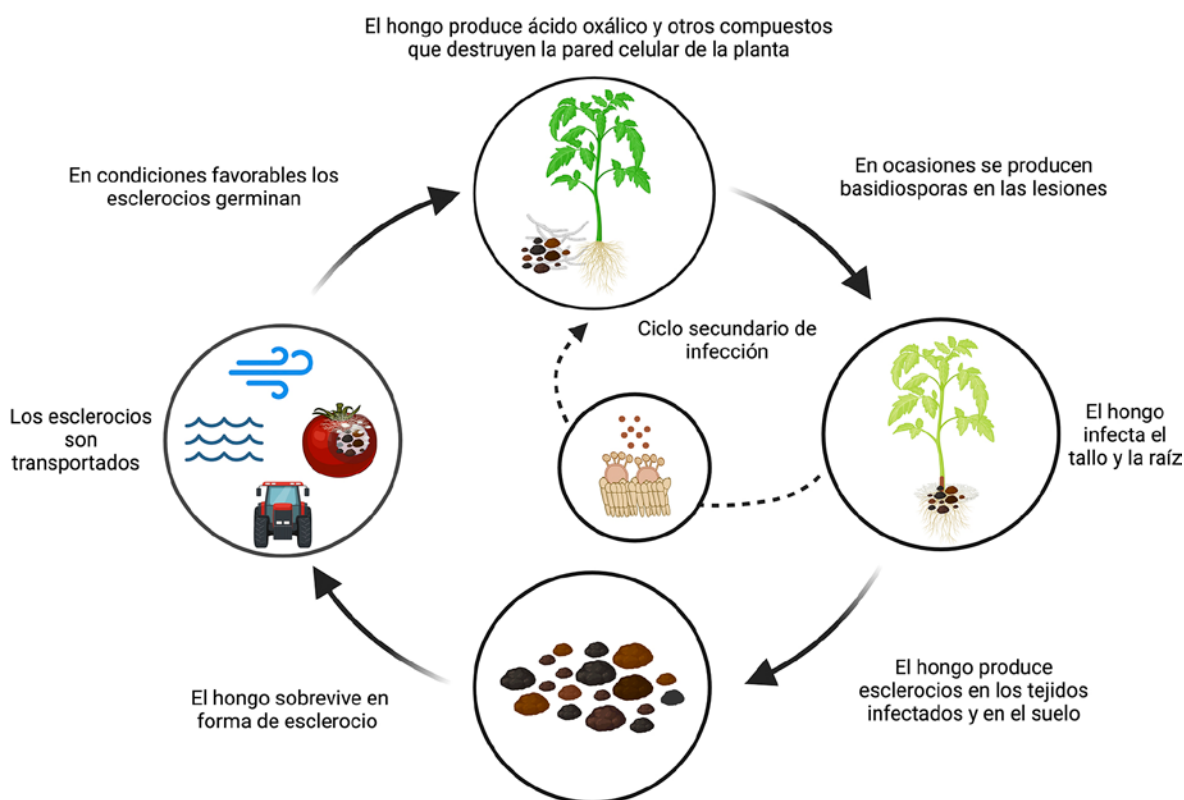


Figura 1. Ciclo de infección de *Sclerotium rolfsii* en la planta de jitomate. Imagen creada con [BioRender.com](https://www.biorender.com).

marchitez por esclerocio, la pudrición carbónica, la pudrición del cuello, el tizón del tallo y las plántulas, la pudrición del pie y de las raíces (Pandey y Mishra, 2021), etcétera. A la enfermedad que causa se le conoce comúnmente como tizón sureño o pudrición sureña, aunque también es llamada mal del esclerocio, añublo sureño, marchitez de esclerotium o malla blanca.

CICLO DE INFECCIÓN DE *SCLEROTIUM ROLFSII*

Cuando las condiciones climáticas son favorables, como en primavera, el hongo comienza su crecimiento a partir de las hifas que provienen de restos de plantas infectadas, o por la germinación de las estructuras de resistencia que caracterizan a este hongo, los esclerocios (Figura 1). Cuando el micelio (conjunto de hifas) entra en contacto con los tejidos de las plantas, se produce una penetración directa, aunque la infección también puede comenzar a través de heridas (Mehdi Khanlou, 2016).

La infección ocurre en cualquier parte de la planta que tenga contacto con el suelo, aunque habitualmente comienza por el tallo inferior, en donde aparece una lesión de color marrón oscuro a negro (pudrición) que puede expandirse por el tallo de la planta causando que la planta se marchite y muera (Figura 2). *S. rolfsii* produce ácido oxálico, además de enzimas como poligalacturonasa y celulasa, que degradan la pared celular de las plantas y se ha propuesto que tienen un papel importante en la agresividad de la infección (Agrios, 2024). La enfermedad se propaga por contacto de las hifas que crecen en una planta con otras plantas cercanas, lo que ocasiona ciclos secundarios de infección. *S. rolfsii* desarrolla basidiosporas cuando se reproduce sexualmente; estas se engendran en las lesiones infectadas y pueden diseminarse por el aire, lo que provoca que otras plantas se enfermen. Cada basidiospora genera de 1 a 3 tubos de germinación al entrar en contacto con la planta, y cada uno de estos produce apresorios, estructuras especializadas con las cuales el fitopatógeno penetra en la planta (Pandey y Mishra, 2021).



Figura 2. Plántula de jitomate infectada con *S. rolfsii*. La fotografía muestra una planta de jitomate 8 días posteriores a la infección. Se observa el marchitamiento de la planta.

A medida que se desarrolla la enfermedad, aparecerá una masa de micelio algodonosa que cubrirá el tallo de la planta. Es aquí donde ocurre un proceso que garantiza la supervivencia del hongo a situaciones climáticas extremas: a partir de su micelio, el hongo se recubrirá con una capa que formará los esclerocios que al principio son de color blanco y, posteriormente, a medida que maduran, se tornan de color oscuro pasando por colores mostaza, anaranjado, hasta llegar al marrón oscuro. Los esclerocios crecerán no solo sobre las lesiones, sino además dentro y alrededor de las raíces cercanas a la superficie del suelo (Blancard, 2012). En el invierno, el hongo se encontrará en forma de esclerocios y micelio en plantas infectadas, los esclerocios tienen diámetros de 0.5 a 2 mm y pueden sobrevivir y permanecer con la capacidad de infectar hasta por 7 años en el suelo del campo o en restos de plantas (Mehdi Khanlou, 2016).

SIGNOS DE TIZÓN SUREÑO

Los signos que causa la infección por *S. rolfsii* dependen del sitio de la planta que infecte. En plantas herbáceas, como el jitomate, el cacahuete y el

pimiento, produce la pudrición de la corona y del tallo inferior (Blancard, 2012). Cuando *S. rolfsii* infecta tubérculos, bulbos y órganos carnosos produce una pudrición blanda. El micelio y los esclerocios se desarrollan en los tejidos en descomposición; en los frutos ocurre algo similar (Agrios, 2024). Si la infección se da en las hojas, aparecen manchas irregulares de color marrón y centro blanco de aproximadamente 30 mm de diámetro; a medida que estas manchas se extienden, se observarán anillos concéntricos que se podrán unir y causar hasta el 70 % de necrosis en la hoja. En estas lesiones también suele crecer micelio en donde se formarán esclerocios (Pandey y Mishra, 2021).

IMPORTANCIA DE LA PRODUCCIÓN DE ESCLEROCIOS

Los esclerocios que produce *S. rolfsii* son un conjunto de hifas recubiertas con una corteza de melanina que le permiten al hongo sobrevivir a condiciones desfavorables como la radiación, la inanición, las temperaturas extremas o incluso la degradación biológica (Liang *et al.*, 2018); además, contribuyen a la diseminación del hongo, pues los esclerocios pueden adherirse fácilmente a superficies lisas, también son transportados largas distancias en frutos infectados, agua en movimiento, aves, insectos (Billah *et al.*, 2017).

Cabe destacar que estas estructuras se producen en grandes cantidades, en la naturaleza se encuentran entre 8.6 a 21.9 esclerocios por cada 700 g de suelo (Pandey y Mishra, 2021) y hasta mil esclerocios en condiciones de laboratorio en tan solo 20 días (Figura 4A), cada uno de ellos posee el potencial para germinar y dar lugar a una nueva infección en alguna otra planta hospedera. El incremento en la temperatura del planeta ha propiciado que existan las condiciones óptimas (25 °C a 35 °C) que este hongo necesita para producir esclerocios y que estos germinen, lo que ha permitido su propagación a otras especies de plantas, ampliando su rango de hospederos y agravando la problemática de los cultivos agrícolas (Pandey y Mishra, 2021).

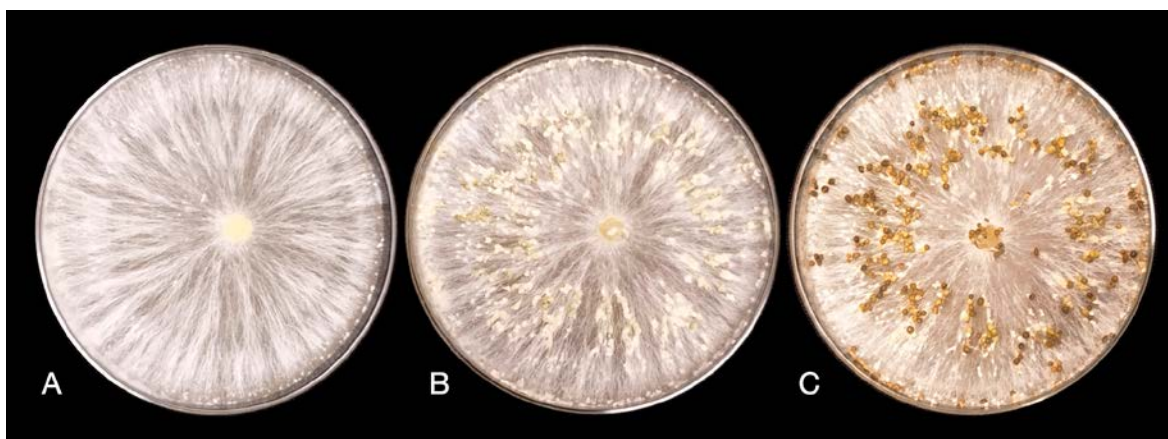


Figura 3. Etapas de formación del esclerocio. *S. rolfsii* en agar papa dextrosa. Las placas se incubaron a temperatura ambiente. A) Luego de 5 días de incubación el micelio cubre la caja de Petri. B) A los 20 días de incubación se observa la producción de esclerocios inmaduros. C) A los 40 días se observan esclerocios maduros de color marrón oscuro.

A nivel mundial cada año se registran nuevas especies de plantas susceptibles al ataque de este hongo en diversos países que incluyen México, India y China. Cabe resaltar que afecta cultivos de interés económico, como la chía (*Salvia hispanica*), la jícama (*Pachyrhizus erosus*) y el pimiento (*Capsicum annuum* L.). Los esclerocios de *S. rolfsii* se forman por el entrelazamiento de hifas, y durante su desarrollo se pueden observar tres subestados correspondientes al inicio, el desarrollo y la maduración del esclerocio (Figura 3).

En estas últimas etapas se forman en la superficie del esclerocio gotas de exudado compuesto de proteínas, ácidos grasos, amoníaco y varias enzimas, algunas con actividades antioxidantes, como catalasa y peroxidasa, además de la polifenol oxidasa que participa en la síntesis de melanina a partir de la polimerización oxidativa de compuestos fenólicos (Pandey y Mishra, 2021).

El recubrimiento de los esclerocios maduros está constituido por una corteza pigmentada con melanina, además de células necrosadas; dicha corteza forma una capa superficial impermeable que permite a los esclerocios permanecer latentes en los suelos infectados (Melo *et al.*, 2019).

La melanina es un compuesto poliaromático formado por varios tipos de monómeros fenólicos e indólicos que frecuentemente se encuentran unidos

a proteínas y carbohidratos formando complejos, y mejoran las habilidades de supervivencia e incluso contribuyen a la patogenicidad de algunos hongos al intervenir en el desarrollo de estructuras de penetración (Liang *et al.*, 2018).

Este pigmento de color oscuro (Figura 4B), casi negro en altas concentraciones, es extremadamente resistente al ataque químico y enzimático; además, proporciona no solo protección física y de la luz ultravioleta, sino también elimina los radicales libres citotóxicos causados por las radiaciones ionizantes (Moore *et al.*, 2020).

En la diferenciación esclerocial que exhiben algunos hongos filamentosos como *S. rolfsii*, la biosíntesis de melanina juega un papel fundamental. En una investigación en la cual se inactivaron dos genes (SCD1 y THR1) que participan en la síntesis de melanina en *Sclerotinia sclerotium*, se descubrió que las cepas mutantes presentaban un crecimiento más lento de las hifas y una menor biomasa, además de un retraso en el inicio de la formación del esclerocio, al igual que una menor producción y con menos pigmentación, en comparación con los esclerocios producidos por la cepa silvestre.

Además, los esclerocios tuvieron un aumento en la sensibilidad a la luz UV, por lo que dichos genes, así como la biosíntesis de melanina, son importantes para la supervivencia del hongo (Liang *et al.*, 2018).

En *S. rolfsii* la luz provoca la diferenciación esclerocial además de promover la acumulación de

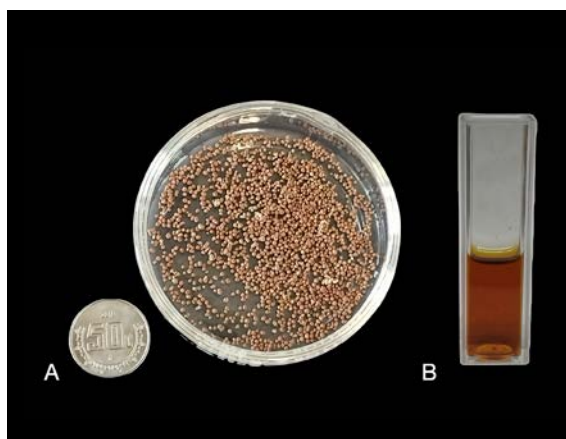


Figura 4. Producción de esclerocios por *S. rolfsii* en condiciones de laboratorio. A) La fotografía muestra los 1780 esclerocios producidos al sembrar micelio en una caja de agar papa dextrosa de 10 cm de diámetro incubada a temperatura ambiente por 30 días. B) Melanina extraída de los esclerocios de *S. rolfsii* con solución de NaOH 3M.

melanina en los esclerocios mediante la inducción de tirosinasa, una de las enzimas principales en la vía de síntesis de las melaninas. A pesar de que existe información acerca del proceso de desarrollo del esclerocio, aún no se conoce la vía de síntesis de la melanina en *S. rolfsii*. Es necesaria la investigación en esta área, ya que representa una potencial diana para el desarrollo de tratamientos contra el tizón sureño.

Otros factores que promueven la producción de esclerocios son las altas temperaturas y la limitación de nutrientes que causan estrés oxidativo (Melo et al., 2019).

CONTROL DEL FITOPATÓGENO

Existen diferentes métodos para el control de *S. rolfsii* y su uso dependerá del cultivo y del lugar en donde ocurra, pero al igual que para otros hongos transmitidos por el suelo, los tratamientos que se utilizan pueden ser solares, químicos, botánicos, biológicos, la rotación de cultivos, el uso de variedades resistentes o una combinación de ellos (Pandey y Mishra, 2021).

Sin embargo, el control de las enfermedades causadas por este hongo es difícil debido, entre otros factores, a la amplia variedad de hospederos y a la producción de esclerocios que complican la rotación de cultivos (Mehdi Khanlou, 2016).



Figura 5. Experimento de confrontación que muestra la inhibición del crecimiento micelial y la producción de esclerocios de *S. rolfsii* por acción de un consorcio de *Pseudomonas* sp. A) Crecimiento del consorcio bacteriano (derecha) que inhibe el crecimiento del hongo (izquierda). B) Crecimiento del hongo sin tratamiento; el micelio cubrió la caja de Petri y se observa producción de esclerocios a diferencia del tratamiento con el consorcio de *Pseudomonas* sp.

CONTROL QUÍMICO

Una amplia variedad de fungicidas es utilizada en su control, como carbendazim, benomilo, sancoszeb, topsin M, dithane M-45 y thiovit, útiles en concentraciones altas (Dwivedi y Prasad, 2016).

Otros fungicidas que han sido empleados para tratar a *S. rolfsii* son el pentacloronitrobenzeno, el tebuconazole, el azoxistrobina y el flutolanil, también fumigantes como el dazomet y el metam sodio, pero aun después de la fumigación los esclerocios sobreviven, por lo que el procedimiento debe repetirse cada año.

El uso de estos tratamientos es restringido por su alta toxicidad tanto para el ser humano como para el medio ambiente, además de sus exorbitantes costos, lo que los hace poco prácticos (Mehdi Khanlou, 2016).

La aplicación excesiva de fungicidas químicos representa un grave peligro para los ecosistemas, pues no son específicos, por lo que afectan a otros microorganismos, incluso a algunos que son benéficos para las plantas; además, aún no existen estudios sobre los efectos a largo plazo en la salud humana de la exposición a los fungicidas. La exploración de tratamientos amigables con el medio



© Rafael Pareja. De la serie *Nuestras manos*, 2016.

ambiente es uno de los principales desafíos a sortear para el manejo sustentable de las enfermedades en plantas provocadas por hongos.

CONTROL BIOLÓGICO

Otros tratamientos incluyen el uso de fertilizantes, la incorporación de enmiendas orgánicas o la aplicación de agentes de control biológico. Actualmente, los microorganismos de control biológico utilizados contra *S. rolfsii* incluyen bacterias de los géneros *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Streptomyces* y *Rhizobium*, así como hongos de los géneros *Trichoderma*, *Penicillium* y *Fusarium* (Pandey y Mishra, 2021).

Los mecanismos de acción de estos microorganismos son variados e incluyen la producción de metabolitos secundarios con actividad antibiótica, como la pirocianina, la pirrolnitrina, fenazinas, sideróforos, cianuro de hidrógeno o el 2,4 diacetilfloroglucinol que varias especies de *Pseudomonas* secretan

al medio (Jayaprakashvel *et al.*, 2019) (Figura 5), mientras que algunas especies de *Trichoderma* producen enzimas proteolíticas como β -glucosidasa, tripsina, α -glucosidasa, quimotripsina, β -xilosidasa y N-acetil β -glucosaminidasa (Pandey y Mishra, 2021).

Otra de las ventajas de la aplicación de agentes de control biológico es que la mayoría, además de antagonizar a los fitopatógenos (controlar las enfermedades en plantas), presentan mecanismos que promueven y mejoran el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Los principales métodos de promoción del crecimiento de las plantas que tienen este tipo de bacterias son la solubilización de fosfatos y zinc, así como la fijación de nitrógeno y la producción de fitohormonas que regulan el crecimiento de las plantas.

CONCLUSIÓN

Sclerotium rolfsii es un hongo fitopatógeno que devasta cultivos y prevalece en temporada de lluvias en zonas tropicales y subtropicales, afecta una amplia



© Rafael Pareja. De la serie *Nuestras manos*, 2018.

variedad de cultivos cuya lista continuamente se amplía. Los métodos de control convencionales, aunque efectivos, son excesivamente caros y tienen graves consecuencias medioambientales, por lo que resultan poco prácticos.

La búsqueda de alternativas ecológicas como el uso de agentes de control biológico que limiten el crecimiento de este hongo e inhiban la producción de esclerocios, o que interfieran con la producción de melanina, es uno de los mayores retos, pues los esclerocios son una de las principales fuentes de diseminación de este fitopatógeno, además de permitir su persistencia por varios años en los suelos infectados. Investigar nuevos agentes de control biológico contra *S. rolfii* permitirá un manejo sostenible de las enfermedades causadas por este hongo.

G L O S A R I O

Agente de control biológico: microorganismo con la capacidad de disminuir y mejorar la resistencia contra las enfermedades en plantas causadas por patógenos.

Basidiósporas: en los hongos basidiomicetos, esporas producidas de manera sexual localizadas dentro de un basidio, estructura en forma de mazo.

Biosíntesis: en el metabolismo de las bacterias es el proceso mediante el cual se unen diferentes compuestos precursores para crear moléculas más grandes que cumplen una función específica.

Compuestos fenólicos: un grupo de sustancias que contienen uno o más anillos fenólicos conocido popularmente como hidroxibenceno.

Compuestos indólicos: también llamados alcaloides indólicos, son un grupo de sustancias que contienen indol, una molécula débilmente básica formada por un anillo pirrol fusionado con un núcleo de benceno.

Diferenciación esclerocial: etapas en las que ocurren cambios bioquímicos, morfológicos, fisiológicos y metabólicos que conducen a la formación de los esclerocios en hongos.

Fitopatógeno: microorganismo que provoca enfermedades en plantas.

Fungicida: compuesto tóxico para los hongos.

Plántulas: plantas que recién brotaron de las semillas.

R E F E R E N C I A S

Agrios G (2024). *Plant pathology*. Elsevier Academic Press.

Sclerotium rolfii: una amenaza para los cultivos agrícolas...



© Rafael Pareja. De la serie *Nuestras manos*, 2018.

Billah KM, Hossain MB, Prince MH and Sumon MM (2017). Pathogenicity of *Sclerotium rolfsii* on different host, and its over wintering survival; A mini review. *International Journal of Advances in Agriculture Sciences* 1:1-6.

Blancard D (2012). *Tomato diseases: identification, biology and control: a colour handbook*. Academic Press, London.

Dwivedi SK and Prasad G (2016). Integrated management of *Sclerotium rolfsii*: an overview. *European Journal of Biomedical and Pharmaceutical Sciences* 11:137-146.

Jayaprakashvel M, Chitra C and Mathivanan N (2019). Metabolites of plant growth-promoting rhizobacteria for the management of soil-borne pathogenic fungi in crops. In *Secondary metabolites of plant growth promoting rhizomicroorganisms*. Springer, Singapore.

Liang YUE, Xiong WEI, Steinkellner S and Feng JIE (2018). Deficiency of the melanin biosynthesis genes SCD1 and THR1 affects sclerotial development and vegetative growth, but not pathogenicity, in *Sclerotinia sclerotiorum*. *Molecular plant pathology* 6:1444-1453.

Mehdi K (2013). Use of RNAi to evaluate the role of isoflavones in resistance of red clover to *Sclerotinia trifoliorum* and *Sclerotium rolfsii* (Doctoral dissertation, Ghent University).

Melo BS, Voltan AR, Arruda W, Lopes FAC, Georg RC and Ulhoa CJ (2019). Morphological and molecular aspects of sclerotial development in the phytopathogenic fungus *Sclerotinia sclerotiorum*. *Microbiological Research* 229(126326).

Moore D, Robson GD and Trinci AP (2020). *21st century guidebook to fungi*. Cambridge University Press. New York.

Pandey MK and Mishra RK (2021) *Sclerotium rolfsii*: A Threat to Legume Crops. *Diseases of Pulse Crops and their Management* 247.

Miriam Angélica Cordero Burgos
José Antonio Cervantes Chávez
Facultad de Ciencias Naturales
Universidad Autónoma de Querétaro
mcordero12@alumnos.uaq.mx

La felicidad en una taza de café

Aída Atenea **Bullen Aguiar**

Hace algún tiempo salí a tomarme un café con una amiga, platicábamos sobre las penas que me afligían en aquel momento. Mi amiga, que es muy diplomática, escuchaba pacientemente. Como de costumbre, yo monopolizaba la conversación, pero al hacer una pausa para recuperar el aliento, ella rápidamente replicó:

—¡Yo creo que venimos al mundo para ser felices!

Inicialmente, su observación me pareció un cliché de la sección de libros de autoayuda, de esos que abundan en las librerías de hoy, pero, muy a mi pesar, sabía que de cierta forma tenía razón; el tema de la felicidad ha sido una idea cardinal en la historia de la humanidad, desde el pensamiento antiguo hasta el contemporáneo. Lao Tse, Confucio, Shakyamuni Buda, Aristóteles, los estoicos Epicuro y Séneca, Voltaire, Jeremy Bentham y hasta el empirista Bertrand Russell hicieron propuestas sobre cómo “conquistar la felicidad”, sin mencionar a muchos otros que han pensado en este tema sin escribir una sola línea. Pero, después de toda esta reflexión, ¿qué entendemos por felicidad?, y ¿cómo se logra?

Un primer obstáculo es que no existe una definición precisa y universal. Para distintas personas, en distintas culturas y en distintos momentos históricos, la felicidad se comprende de manera diferente. Para algunos significa bienestar, tranquilidad, satisfacción; para otros alegría o gozo. Puede considerarse una emoción, un sentimiento o una sensación,

y por ser tan difícil de explicarla, también es complicado estudiarla. Lo que nos lleva a un segundo esbozo: cómo se estudia y cómo se mide.

Afortunadamente, desde finales del siglo XX, la psicología se interesa cada vez más por la salud y el bienestar en lugar de limitarse al estudio de las psicopatologías. Fue Abraham Maslow, desde la psicología humanista, quien acuñó el término “psicología positiva” en su libro publicado en 1954, *Motivación y personalidad*, y hoy en día este campo es cada vez más vasto (Nash, 2015). Entre sus principales exponentes encontramos a Martin Seligman, Carol Dweck, Mihaly Csikszentmihalyi, Barbara Fredrickson, Christopher Peterson, Albert Bandura y Ed Diener; este último es importante por ofrecer una definición de felicidad muy práctica y acotada, que es conocida como bienestar subjetivo (*subjective wellbeing*).

¿CÓMO SE DEFINE LA FELICIDAD?

Para Diener y sus colaboradores, la palabra felicidad es imprecisa y puede significar distintas cosas. En cambio, bienestar subjetivo (BS) es un

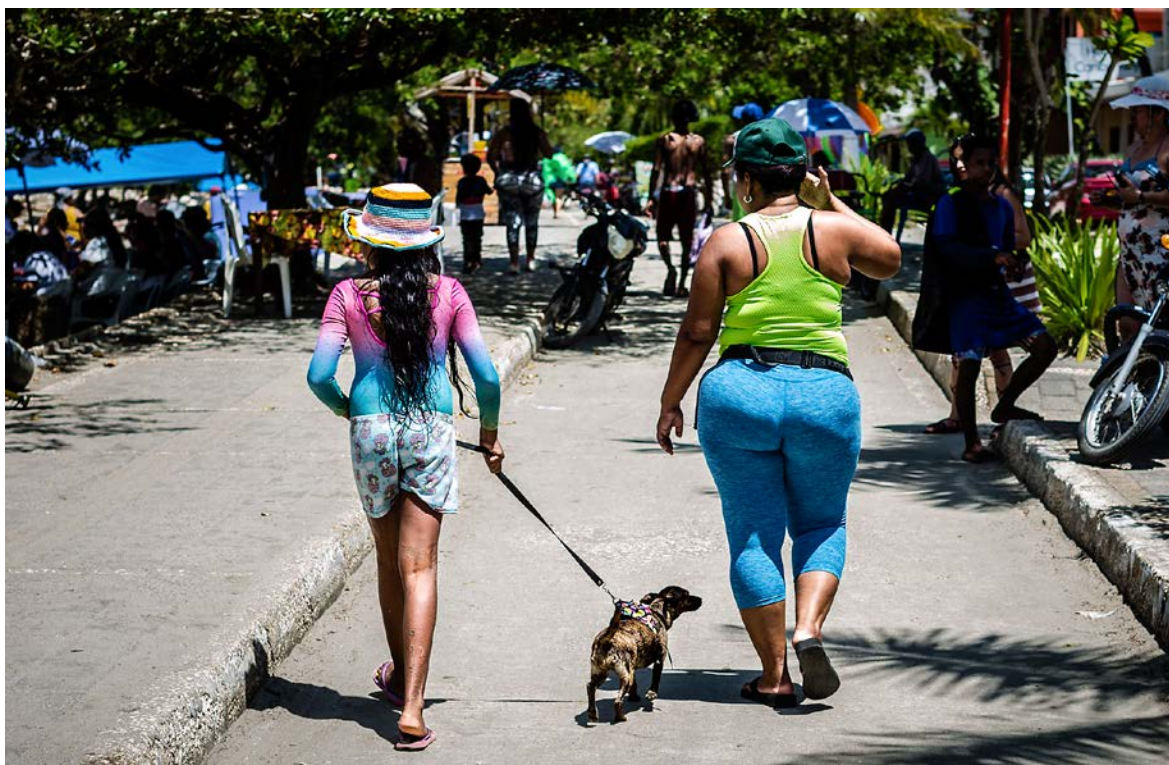
[...] término paraguas empleado para describir el bienestar que experimentan las personas de acuerdo a una evaluación subjetiva de sus propias vidas. Esta evaluación incluye juicios y sentimientos sobre la satisfacción de su vida, intereses, compromisos, respuestas afectivas que incluyen la alegría y la tristeza ante los eventos de la vida, satisfacción con el trabajo, relaciones, salud, creación, sentido y propósito, y otros dominios importantes. (Diener y Ryan, 2009, p. 391).

A diferencia de la palabra felicidad, el BS puede ser evaluado objetivamente a través de la observación de la conducta, de lo que se dice y se hace, y para ello se han elaborado una serie de instrumentos entre los que se encuentran algunas encuestas, guiones de entrevista y guías de observación, que evalúan la satisfacción con la vida y las emociones de las y los entrevistados (Diener y Ryan, 2009, p. 391).

Algunos de estos instrumentos incluyen la escala de satisfacción con la vida (SWLS) de Diener, Emmons, Larsen y Grifflin (1985) y la encuesta de felicidad subjetiva de Lyubomirsky (1999), en las que se hacen preguntas de opción múltiple tipo Likert. Para la escala SWLS, las personas califican si las circunstancias de su vida son buenas, si se está satisfecho con ella, si ha logrado las cosas que considera importantes y si cambiaría algo de poderlas vivir de nuevo. De forma similar, la encuesta de felicidad subjetiva incluye preguntas que valoran si la persona se siente feliz, o si, en comparación con sus pares, se considera más o menos feliz. Otro instrumento es la escala de afectividad, conocida como PANAS por sus siglas en inglés (*Positive and Negative Affect Schedule*). Fue desarrollada por David Watson, Lee Anna Clark y Auke Tellegen en 1988 y calcula, en una escala del 1 al 5, qué tanto se experimentaron 10 emociones positivas y 10 emociones negativas durante la semana previa a su aplicación. El objetivo de estos instrumentos es realizar un diagnóstico del nivel de bienestar de la persona en el momento en que se hace la medición, recordando que la felicidad, bajo su definición operativa de bienestar subjetivo, posee dos componentes: la satisfacción con la vida en general y las emociones que experimentamos con mayor frecuencia. Si bien los datos que ofrecen estas encuestas no explican las causas, ni las razones por las que una persona se siente de una forma u otra, sí permiten realizar un diagnóstico del grado de bienestar subjetivo que la persona experimenta. Las asociaciones y correlaciones que se puedan establecer con otras

© Rafael Pareja. De la serie *Gente del caribe colombiano*, 2022.





© Rafael Pareja. De la serie *Gente del caribe colombiano*, 2022.

variables también ofrecen pistas sobre las maneras en que se podría promover y fortalecer el bienestar.

INVESTIGANDO LAS CAUSAS DE LA FELICIDAD

Lyubomirsky, Sheldon y Schakad (2005) publicaron un artículo en el que tratan de identificar las causas de la felicidad y, a partir de la revisión de la literatura, propusieron tres factores causales que ponderaron por orden de importancia: factores genéticos (50 %), las circunstancias de la vida (10 %) y las actividades cotidianas (40 %) (p. 116). Los porcentajes propuestos por Lyubomirsky *et. al* han sido muy debatidos. Algunos autores consideran que el factor hereditario juega un papel más importante en nuestro nivel de bienestar, casi en un 70 % u 80 %; otros dudan respecto a la posibilidad de establecer porcentajes porque, argumentan, los factores no se pueden separar, más bien se retroalimentan entre sí, lo cual dificulta la evaluación (Newman, 2020). Pese a las críticas, la propuesta es útil porque ofrece una imagen más clara de los elementos que influyen en la felicidad. Sus resultados orientaron la investigación hacia diversos

campos, además de brindar una ventana de oportunidad al reconocer que las actividades que realizamos día con día influyen de manera importante en cómo nos sentimos. Si bien existe un factor genético, su expresión dependerá de las condiciones socioeconómicas, pero también de las decisiones que se toman y que influyen en la expresión de dicha predisposición. Sin embargo, por mucho tiempo no se distinguió entre los aspectos propios, innatos del individuo, y sus condiciones externas. Por ejemplo, en 1967, Warner Wilson publicó un artículo en el que trataba de encontrar las características que hacían a una persona feliz y concluyó que, para ser feliz, se necesitaba ser

[...] joven, sano, con una buena educación, con un buen salario, extrovertido, optimista, sin preocupaciones, religioso, casado, con buena estima propia, buena actitud ante el trabajo, con aspiraciones modestas, de cualquier género/sexo y con un amplio grado de inteligencia. (Diener *et al.*, 1999).



© Rafael Pareja. De la serie *Gente del caribe colombiano*, 2022.

¿Suena familiar? Seguramente algunas personas estarán de acuerdo con esta propuesta. No obstante, el psicólogo Edward Diener se dio a la tarea de investigar las variables demográficas y encontró que las cosas son un poco más complejas.

Por ejemplo, realizó estudios para valorar la relación entre el nivel de bienestar y el género, la educación, la edad, la religión, el matrimonio, las relaciones sociales, el divorcio, el desempleo y el ingreso. Para las tres primeras categorías (género, educación y edad), los datos de diversos estudios son contradictorios y por lo general concluyen que se requiere más investigación para entender su relación con el BS, a excepción del género, en el que las mujeres tienden a reportar mayor bienestar, aunque este tema debe investigarse con mayor detalle, considerando el papel que juega el sistema sexo-género y las estructuras patriarcales; como se observa en relación con el acceso de las mujeres a oportunidades laborales, educativas y de familia, así como la disposición cultural a que las mujeres manifiesten

con libertad sus emociones. Para las variables matrimonio y relaciones se observa una propensión a que la cercanía contribuya positivamente al bienestar subjetivo; por el contrario, el divorcio y el desempleo afectan negativamente el bienestar. Por último, el ingreso económico es importante para el BS, pero solo cuando se percibe lo suficiente para cubrir las necesidades básicas.

En países ricos, se ha observado que mayor riqueza no produce mayor felicidad (Diener y Ryan, 2009).

SEIS ENFOQUES TEÓRICOS SOBRE LAS CAUSAS DEL BIENESTAR SUBJETIVO

Si la evidencia empírica no aclara las posibles causas de la felicidad, existen seis enfoques teóricos que intentan proponer un origen del BS y que incluyen las siguientes teorías: 1) teorías téticas; 2) de arriba-abajo versus de abajo-arriba; 3) teorías cognitivas; 4) teorías del temperamento y la personalidad; 5) teorías evolutivas, y 6) teoría del estándar relativo. Revisemos brevemente en qué consiste cada una de ellas.

Según Diener y Ryan (2009), las teorías télicas, como su nombre lo indica, se orientan al logro de un objetivo o meta, ya sea la satisfacción de una necesidad o la consecución de un objeto. Lógicamente, la satisfacción y el logro de esas necesidades o metas resultarán en BS. Sin embargo, los datos empíricos no muestran evidencia de que así sea, pues se ha observado que algunas personas que cumplen sus metas, no siempre logran sentirse satisfechas y contentas, porque en cuanto se cumple con el objetivo propuesto, se tiende a establecer una nueva meta o nuevos objetivos; además, es importante considerar el tipo de meta y las circunstancias externas que facilitan o dificultan su logro, ya que la cultura influye no solo en el tipo de meta propuesta, sino también en el sentimiento de satisfacción al cumplirla.

Las teorías direccionales, de arriba-abajo o de abajo-arriba, se centran, por un lado, en la experiencia concreta de las personas, y por el otro, en la predisposición subjetiva de las personas. La primera se asocia a los acontecimientos externos (abajo-arriba) y la segunda en las cualidades internas de la persona (arriba-abajo) (Diener y Ryan, 2009). Aquí tampoco queda claro cuál es más eficaz para lograr el BS. Mientras que la primera se centra en los eventos externos sobre los que tenemos poco control, la segunda se enfoca en la respuesta personal de cada individuo frente a los eventos externos. Para este último enfoque, se han investigado diversas estrategias de educación emocional para una mejor respuesta cognitiva y afectiva.

Entre las teorías cognitivas, encontramos el modelo AIM (Atención, Interpretación y Memoria) que

[...] sugiere que las personas con un alto nivel de bienestar social tienden a enfocar su atención en estímulos positivos, interpretan los eventos positivamente y recuerdan eventos pasados con un sesgo positivo. (Diener y Ryan, 2009, p. 394).

En este sentido, se han realizado importantes hallazgos, entre los que se puede destacar que

Quizá más importante, la habilidad de dirigir la atención fuera, lejos de sí, es un predictor significativo de bienestar. Los estudios muestran que, aunque las personas que exageran y rumian, tienden a preocuparse más y experimentan menor bienestar subjetivo, en general, enfocar la atención hacia adentro puede causar que las personas que normalmente experimentan altos niveles de bienestar experimenten significativamente menos bienestar. (Diener y Ryan, 2009, p. 394).

Esto significa que el BS depende del enfoque de nuestra atención; la gente “feliz” se centra y recuerda los eventos positivos con mayor frecuencia que quienes se sienten infelices y no toman las cosas personalmente. Sin embargo, no estamos predestinados a centrar nuestra atención en tal o cual cosa.

El temperamento y la personalidad también se han investigado en la relación con el BS. Estudios con gemelos idénticos y fraternos demuestran la importancia de la herencia genética en los rasgos de personalidad como la extroversión y la neurosis. Diener y Ryan (2009, p. 395) proponen que “La extroversión ha demostrado predecir afectos positivos (Lucas y Fujita, 2000), mientras que los afectos negativos son fuertemente predichos por la neurosis” (Diener y Ryan, 2009, p. 395). Esto no significa que las personas extrovertidas sean más felices, pero sí se observa que las personas menos extrovertidas y que muestran rasgos de neurosis, tienen a reportar niveles más bajos de BS. Aquí es importante aclarar que ser introvertido no es equivalente a ser neurótico. Más bien, los estudios se han centrado en personalidades neuróticas.

© Rafael Pareja. De la serie *Gente del caribe colombiano*, 2022.



Desde la perspectiva evolutiva se ha investigado sobre los beneficios de las emociones. Por ejemplo, se han buscado las ventajas adaptativas del miedo, la ira y la ansiedad, frente a amenazas ambientales. Paralelamente, también se han investigado las emociones positivas (Diener y Ryan, 2009). Entre los hallazgos más interesantes, se encuentra el de Barbara Fredrickson (1998), que explica que los

[...] sentimientos positivos permiten a los individuos ampliar sus repertorios de pensamiento-acción y consecuentemente construyen recursos intelectuales, psicológicos, sociales y físicos en el tiempo [...].

Por tanto, las personas pueden “explorar sus ambientes, acercarse a nuevas metas, y por ende, obtener recursos personales importantes.” (Diener y Ryan, 2009, p. 395). La teoría de los estándares relativos considera que el bienestar depende de las comparaciones que hacemos a partir de “nuestro pasado, otras personas, metas o ideales, y condiciones actuales” (Diener y Ryan, 2009, p. 395). Esta perspectiva establece que las personas tienden a compararse unas con otras y que cuando se evalúan como mejores, su bienestar subjetivo es mayor (Diener y Ryan, 2009).

Por último, es importante recordar que todas estas variables y teorías deben ser consideradas con cautela, pues los supuestos que fundamentan estas propuestas teóricas y sus interpretaciones deben contextualizarse histórica y culturalmente. Los estudios sobre BS tienden a investigar la valoración que las personas hacen de su vida, es decir, de su nivel de satisfacción y la tendencia a manejar ciertas emociones a través del tiempo. Esta información puede ser de gran ayuda para identificar poblaciones vulnerables y diseñar estrategias de manejo de emociones. Sin embargo, existe el riesgo de cometer errores en la interpretación, generar estereotipos y elaborar juicios equivocados acerca de otras personas o de nosotros mismos, por lo que hay que recordar que la investigación sobre el BS reconoce que este es multifactorial y cambiante, y que todas las personas podemos

cultivarnos, desarrollar ciertas cualidades y lograr ciertas condiciones que nos permitirán sentirnos mejor.

Mientras que encontrar las causas de la felicidad no ha resultado fácil, encontrar los beneficios del BS en algunos aspectos de nuestra vida ha sido más sencillo. Existe evidencia de que el BS mejora la salud y amplía la longevidad. Se dice que las personas que reportan un alto nivel de BS también reportan mejor salud y menos síntomas físicos negativos. Además, se ha asociado a un sistema inmunológico más fuerte y a una mejor salud cardiovascular. También se ha observado un mayor compromiso con conductas saludables como utilizar el cinturón de seguridad, el bloqueador solar y tener menos enfermedades asociadas al estilo de vida, como adicciones al alcohol y las drogas (Diener y Ryan, 2009). Los beneficios se observan en el trabajo y el ingreso, pues quienes reportan un mayor BS, ganan más y disfrutan más de su trabajo (Diener y Ryan, 2009).

En cuanto a las relaciones sociales, se ha observado que quienes acceden a un nivel más alto de BS también participan más en actos altruistas y actividades prosociales como ser voluntarias en la comunidad y participar en grupos de caridad. Asimismo, esas personas confían más, son más cooperativas, tienden a tener actitudes pacifistas y son más tolerantes (Diener y Ryan, 2009), lo que indica que sentirse bien y ser feliz, además, es de beneficio para la sociedad.

LA FELICIDAD ESTÁ EN UNA TAZA DE CAFÉ

Continuando con la idea de la cooperación y la sociabilidad, llama la atención que cuando se revisa la literatura sobre felicidad o bienestar subjetivo, existen numerosas referencias sobre la importancia de las relaciones sociales. Quizá porque existe cada vez más evidencia de que las relaciones sociales se asocian positivamente con la felicidad. Un equipo de investigadoras sudcoreanas realizó un estudio para valorar la importancia de las relaciones, la edad y la felicidad, y encontraron marcadas diferencias entre el tipo de relación y la frecuencia de la misma entre personas jóvenes y adultas mayores (Song *et al.*, 2023). Específicamente, informan que,



© Rafael Pareja. De la serie *Gente del caribe colombiano*, 2022.

en adultos coreanos de 30 a 59 años, la relación con la familia o un pariente cercano es más importante para la felicidad que las relaciones con amigos o vecinos. En contraste, en menores de 30 y mayores de 60 años, los amigos son más importantes para la felicidad (Song *et al.*, 2023). No obstante, si se toma en cuenta la frecuencia del contacto con amigos cercanos, la relación de amistad se vuelve más significativa, para efectos de la felicidad, que la relación con parientes cercanos (Song *et al.*, 2023). Claro que estos hallazgos deben ser analizados a la luz de las diferencias culturales, ya que no todas las sociedades comparten el mismo apego a la familia, a los amigos y a los vecinos; sin embargo, algo que se observa más allá de las fronteras es la necesidad de estar cerca de otros seres humanos.

Quizá este subtítulo sea un poco engañoso. Claramente, la felicidad no se encuentra en una taza de café, pero uno de los hallazgos más importantes de los estudios sobre la felicidad –definida como BS–, es que compartir esa taza de café, té o lo que más te guste, con amigas, compañeros, colegas y familia, en un ambiente de camaradería, sí te hace feliz. Entre otras cosas, las relaciones interpersonales juegan un papel muy importante en nuestro bienestar y, quizá por eso, cuando nos sentimos tristes y miserables

buscamos la compañía de otros. Salir, compartir y platicar en el café, en el parque o en donde te encuentres, es un paso seguro hacia la felicidad ¡Nos vemos allí!

REFERENCIAS

- Diener E (1984). Subjective well-being. *Psychological Bulletin* 95:542-575.
- Diener E and Ryan K (2009). Subjective Well-Being: A General Overview. *South African Journal of Psychology* 39:391-406.
- Diener E, Suh E, Lucas R and Smith H (1999). Subjective well-being: Three decades of progress. *Psychological Bulletin* 125:276-302.
- Lyubomirsky S, Sheldon K and Schakade D (2005). Pursuing happiness: The Architecture of Sustainable Change. *Review of General Psychology* 9:111-131.
- Nash J (2015). The founding fathers and history of positive psychology. Recuperado de: <https://positivepsychology.com/founding-fathers>.
- Newman K (2020). How much of your happiness is under your control? Recuperado de: https://greatergood.berkeley.edu/article/item/how_much_of_your_happiness_is_under_your_control.
- Song I, Kwon JW and Jeon SM (2023). The relative importance of friendship to happiness increases with age. *PLoS One* 18:1-13.

Aída Atenea Bullen Aguiar
Instituto de Investigaciones en Ecosistemas
y Sustentabilidad, UNAM, Campus Morelia
atenea@cieco.unam.mx



© Rafael Pareja. De la serie *Gente del caribe colombiano*, 2022.

La matemática de la poesía permutante en Cortázar

Manuel **González Sarabia**
Ma. del Rosario **Munguía Fuentes**

En 1967, en la casa de Octavio Paz, que en ese momento está en los últimos años de su período como embajador de México en India, Julio Cortázar crea la poesía permutante, un juego para él, pero un juego que debe ser visto con la solemnidad y la gravedad con la que los niños lo hacen. En 1971, en la *Revista Iberoamericana*, Cortázar publica su poema “720 círculos” (aunque el poema fue compuesto en realidad en 1968 y sus primeros escauceos se dieron un año antes). El inicio resume de manera precisa lo que es la poesía permutante:

Este poema es circular y abierto a la vez. Barajando las estrofas se originan diferentes combinaciones, cada una de las cuales puede a su vez ser leída a partir de cualquiera de las estrofas.

Es decir, la base de la poesía permutante es escribir poemas cuyas unidades fundamentales (versos o estrofas) se pueden ordenar de tantas formas como lo indiquen las matemáticas, y en todos esos posibles ordenamientos el poema que nace tiene la coherencia y fluidez que se requiere.

En este trabajo analizamos la matemática relacionada con el conteo del número de formas de leer el poema y la relacionamos con lo escrito por Cortázar. El lector decidirá si debe revisar que todos los caminos posibles en la lectura de los poemas son lo que se espera, o dejar que le ocurra

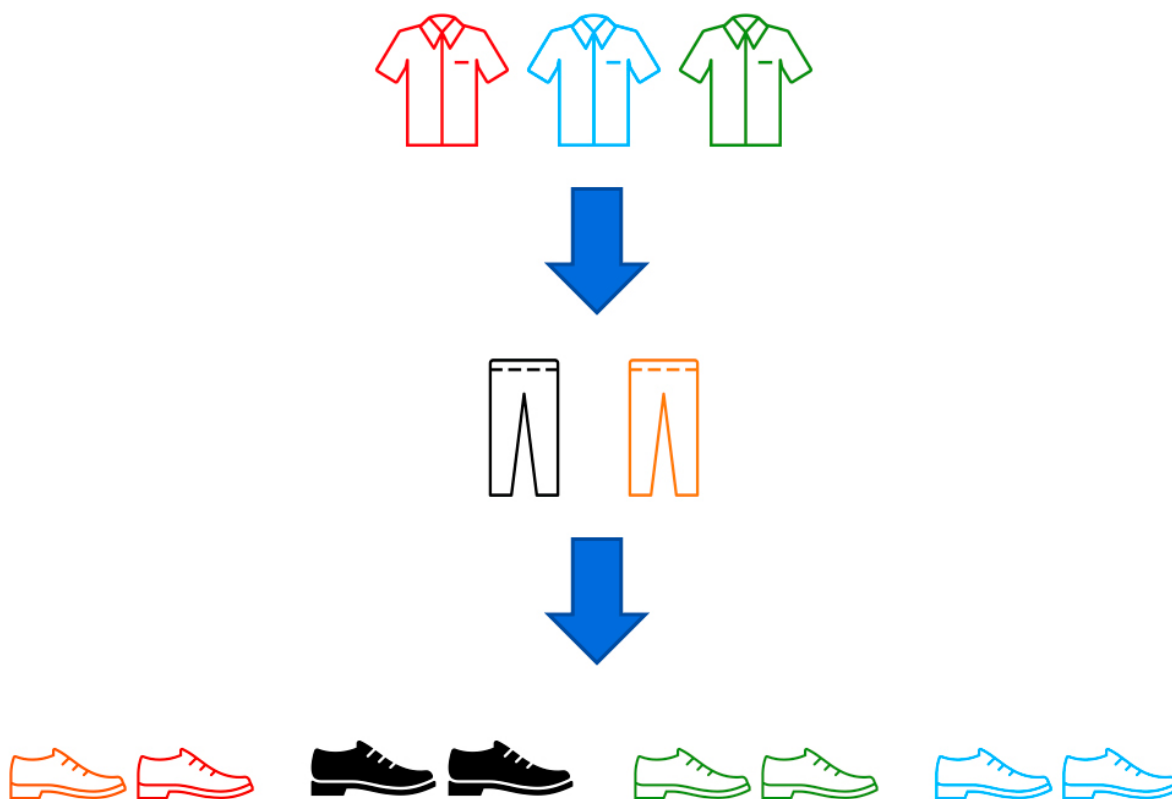


Figura 1. Formas diferentes de vestirse.

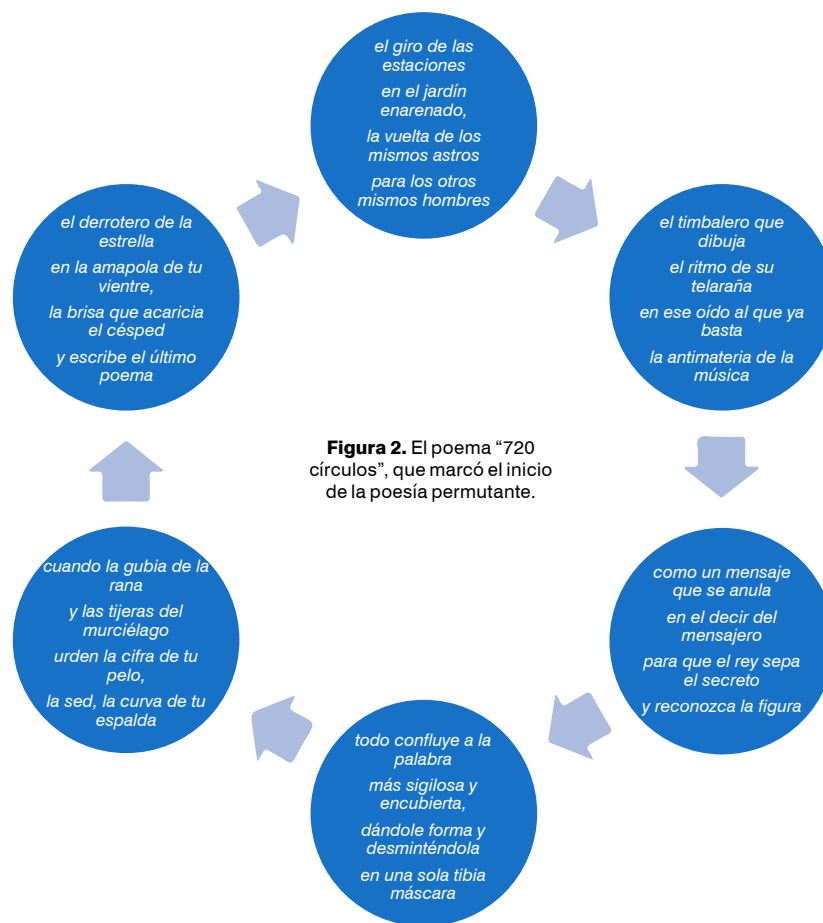
lo que ocurrió al escritor argentino, a quien la falta de paciencia lo hace revisar solo algunas de esas posibilidades. Es importante mencionar que esta creación de Julio Cortázar no fue el primer intento para usar permutaciones en la literatura. Hay múltiples antecedentes, pero solo mencionaremos uno de los más conocidos. El texto en que el escritor argentino introduce el origen de su poesía permutante (Cortázar, 1969) está dedicado a Raymond Queneau, uno de los fundadores del grupo OuLiPo (abreviatura de *Ouvroir de littérature potentielle*, Taller de literatura potencial).

Este grupo abordó el uso de cuestiones combinatorias en la poesía y es, sin duda, un inspirador de Cortázar en estos temas. Queneau (1961) propone diez sonetos cuyos versos pueden combinarse, dando origen a múltiples acomodos. “El libro más largo del mundo”, escribió Carlo Frabetti para un artículo del periódico *El País* (Frabetti, 2020). Es momento de recordar una técnica de conteo que usaremos en el desarrollo de este trabajo.

LA REGLA DE LA MULTIPLICACIÓN

Desde muy pequeños aprendemos cosas básicas acerca de cómo contar. Apenas podemos balbucir algunas palabras y ya nos quieren enseñar nuestros primeros conteos. En educación preescolar estos procesos incluyen, en algunos casos, hacerlos en otro idioma. Es en la escuela primaria donde nos enfrentamos con una primera técnica de conteo que ya no es tan elemental. Es común escuchar problemas como el siguiente: si tenemos 3 camisas diferentes, 2 pantalones distintos y 4 pares de zapatos que no son iguales, ¿de cuántas formas distintas podemos vestirnos usando estas tres prendas? (Figura 1)

La respuesta es muy conocida y fácil de calcular (aunque sabemos que el concepto fácil es bastante relativo): basta multiplicar el número de prendas de cada clase. En este caso, $3 \times 2 \times 4 = 24$. Es decir, podemos vestirnos de 24 formas diferentes. Esta técnica de conteo se llama regla de la multiplicación y es muy usada, a veces sin darnos cuenta. Un ejemplo más elaborado de esta técnica es el siguiente: la Lotería



Nacional en México realiza múltiples sorteos en el año. Uno de ellos es el conocido como el gordo de navidad. Este se realiza una sola vez al año, el 24 de diciembre. Participan 80000 billetes numerados del 00001 al 80000. No describiremos aquí cómo funciona el proceso para obtener el premio mayor, pero baste decir que hay un solo número (que cantan los niños gritones) que da ese premio, y aparte hay otros premios que se entregan de forma adicional.

Uno de esos premios (llamados premio por terminación, o reintegro) consiste en entregar una cantidad pequeña, pero significativa, a aquellos billetes cuyos últimos tres dígitos coinciden con los del premio mayor. La pregunta que queremos responder (es un hecho conocido y el número aparece en el sitio web de la Lotería Nacional, pero ejemplifica la técnica de conteo que estamos explicando) es: ¿cuántos de estos premios deben entregarse?

Para responder lo anterior, analicemos el caso del sorteo gordo de navidad de diciembre de 2023. El premio mayor correspondió al número 41927.

Los billetes que fueron premiados por tener iguales los últimos tres dígitos de este número obedecen a la forma siguiente:



El dígito a la izquierda del nueve puede tomar cualquiera de los diez valores del 0 al 9 a excepción del 1, porque si tomara este valor le correspondería un premio más grande porque coincidirían al menos sus últimos cuatro dígitos con los del premio mayor. Es decir, puede tomar 9 valores.

El primer dígito, contado de izquierda a derecha, puede tomar cualquiera de los 10 valores del 0 al 9, a excepción del 8 y el 9, porque en cualquiera de esos dos casos pasaría del número más grande posible, que es 80000. Es decir, puede tomar 8 valores. Usando la regla de la multiplicación obtenemos que el número de boletos premiados por tener los últimos

tres dígitos iguales a los mismos dígitos del premio mayor es $8 \times 9 = 72$. Vale la pena comentar que, aunque el análisis lo hicimos para un número en particular, siempre se obtienen 72 premios de este tipo, sin importar cuál haya sido el número del premio mayor.

Esta técnica es usada para contar el número de formas distintas en las que n objetos diferentes colocados en una fila pueden ordenarse (donde n es cualquier entero positivo). En la primera posición puede ir cualquiera de los n objetos; una vez escogida esa posición, la segunda puede ser ocupada por cualquiera de los $n-1$ objetos restantes; una vez escogida la segunda posición, la tercera puede ser ocupada por cualquiera de los $n-2$ objetos que quedan, y así sucesivamente hasta que la última posición solo puede ser ocupada por el último objeto. Luego, según la regla de la multiplicación, el número de formas totales está dado por:

$$n(n-1)(n-2)\dots 1,$$

donde los paréntesis indican multiplicación. Este número, como algunos recordarán, se llama el factorial de n y se escribe $n!$; por ejemplo $5! = 5 \times 4 \times 3 \times 2 \times 1 = 120$, este número de ordenamientos juega un papel clave en la relación con Cortázar y es común llamar a cada ordenamiento una permutación. De ahí el nombre de poesía permutante que introduce el gran escritor argentino y que en la siguiente sección desarrollaremos.

JULIO CORTÁZAR Y SU POESÍA PERMUTANTE

En sus largos vuelos de un país a otro y en su estancia en la casa de Octavio Paz, Cortázar desarrolla la poesía permutante. Por lo comentado en la sección anterior, si el número de unidades básicas del texto es n , el número posible de lecturas es $n!$ (el factorial de n). Así que cobra sentido el nombre de su poema: “720 círculos”. Este poema consiste de 6 estrofas. El número de formas distintas de darle orden y leerlo es $6! = 6 \times 5 \times 4 \times 3 \times 2 \times 1 = 720$, según se muestra en la Figura 2.

¿Se atreve el lector a leer este poema en sus 720 formas distintas y ver que todas ellas tienen belleza y sentido? Difícilmente. El mismo Cortázar escribió que bastaba trabajar sobre veinte o treinta secuencias diferentes del poema para eliminar el peligro mayor de las rupturas formales o significativas. Otro de los primeros intentos en este tipo de creaciones es el poema titulado *Antes después*. Este poema consta de 8 versos (aquí las unidades básicas son los versos).

En este caso, el número de formas distintas de leer este poema es $8! = 40,320$. Demasiadas, ¿verdad?:

Como los juegos al llanto
como la sombra a la columna
el perfume dibuja el jazmín
el amante precede al amor
como la caricia a la mano
el amor sobrevive al amante
pero inevitablemente
aunque no haya huella ni presagio

El poeta tiene la convicción de que en este poema hay posibilidades nada comunes, pero, como a cualquiera, le falta la paciencia para seguir adelante.

Cortázar ensayó su poesía permutante con otros pocos poemas que constituyen un reto y un juego a la vez.

El gran poeta argentino nos deleitó con estas creaciones y nos permitió mezclar, al menos en el proceso cuantitativo, la poesía y las matemáticas. Disciplinas que aparentemente viven en mundos distintos, pero que, en realidad, conviven en el universo común de la creatividad y el conocimiento.

R E F E R E N C I A S

- Cortázar J (1969). *Último Round*, Tomo I. Siglo XXI Editores.
Fabretti C (2020). *Poesía y combinatoria*. El País.
Queneau Raymond (1961). *Cent mille milliards de poèmes*. Gallimard.

Manuel González Sarabia
Ma. del Rosario Munguía Fuentes
Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas,
Instituto Politécnico Nacional
mgonzalezsa@ipn.mx

Las ingenieras y los ingenieros también escriben

María Dolores **Flores Aguilar**

Cuando se piensa en los profesionales de la ingeniería, normalmente imaginamos personas haciendo cálculos, elaborando planos, diseñando y dirigiendo grandes obras de construcción o maquinaria automatizada. Persiste el mito de que escribir es exclusivo de periodistas, poetas, escritores, sociólogos, abogados, administradores o investigadores de distintas disciplinas. Sin embargo, comunicar claramente ideas técnicas por escrito es una habilidad que también caracteriza a la profesión de ingeniería, al igual que a otras. A pesar de ello, pocas veces se asocia a las ingenieras e ingenieros con la actividad de escribir.

ANTECEDENTES DE LA FORMACIÓN EN INGENIERÍA

En Europa, la enseñanza de la ingeniería comenzó estrechamente ligada a las necesidades militares y estatales. Desde finales del siglo XVIII, las monarquías impulsaron la creación de cuerpos permanentes de ingenieros dedicados a obras civiles y de fortificación.

La Escuela Politécnica de París fue una de las primeras instituciones de formación de ingenieros en ese tiempo. Esta escuela fue una referencia en el mundo para marcar una tendencia en la educación en ingeniería, principalmente con un enfoque en la enseñanza de las matemáticas y las ciencias básicas en general. Las asignaturas más habituales en los inicios de la enseñanza de la ingeniería europea incluían



© Rafael Pareja. De la serie *Gente del Caribe colombiano*, 2022.

matemáticas avanzadas, dibujo técnico, geometría descriptiva, mecánica, física aplicada y conocimientos técnicos y prácticos, como la topografía y cartografía (Grelon y Gouzévitch, 2004). Esto creó una imagen de la ingeniería con un enfoque primordial en la ciencia, la técnica y la práctica, dejando fuera de la formación a las llamadas habilidades blandas, entre ellas la comunicación escrita.

En Estados Unidos, ante la necesidad de expertos para la construcción de obras de infraestructura y transporte después de la Guerra de 1812, se necesitó formar especialistas en ingeniería, como alternativa a los profesionales que antes se formaban en Gran Bretaña. Se pensó, en un primer momento, que la instrucción para la ingeniería se podría desarrollar directamente con ingenieros en ejercicio que enseñaran a aprendices sus habilidades y conocimientos. Sin embargo, la atención que podía darse de esta manera era muy limitada. Poco a poco, la enseñanza de la ingeniería en Estados Unidos fue impulsada

por militares, en la Academia de West Point, y por particulares, en el Instituto Rensselaer, fuera del sistema universitario estadounidense (Reynolds, 1992).

Ambas instituciones desarrollaron sus propuestas hacia programas de ingeniería más especializados. Poco a poco surgieron universidades que impartían cursos o secciones especiales de ingeniería. Hasta estos tiempos, cuando existe una amplia diversificación de instituciones y programas de

© Rafael Pareja. De la serie *Gente del Caribe colombiano*, 2022.



enseñanza de la ingeniería que podrían clasificarse, en general, como militares, públicas y privadas.

Por otro lado, la educación de ingenieros en México comenzó por la necesidad de especialistas en minería para mejorar los procesos productivos en la extracción principalmente de oro, plata y cobre durante el periodo colonial (Romero Romy, 2022). En 1792, dos empresarios mineros crearon el Real Seminario de Minería y gestionaron los permisos para su creación. Inicialmente, en esta institución solamente se impartían materias como matemáticas, física, química y mineralogía (Tanamachi Castro y Ramos Lara, 2014).

De ahí se pasó a la Escuela Nacional de Ingenieros y a instituciones que hasta la fecha ofrecen, dentro de sus distintos programas, carreras de ingeniería: la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Instituto Politécnico Nacional (IPN), el Tecnológico Nacional de México (TECNM) y las universidades autónomas, estatales y privadas, además de las escuelas de ingeniería militares.

Como consecuencia de la necesidad de colaborar en proyectos multidisciplinarios y gestionarlos eficazmente en el entorno laboral, a partir de 1967, en las carreras de ingeniería de la UNAM se incluyeron asignaturas del área de Ciencias Sociales y Humanidades (UNAM, 1993). Mientras que a finales del siglo XX se comenzaron a impartir en las instituciones de ingeniería públicas mexicanas asignaturas que hacían énfasis en las humanidades y en la formación en habilidades blandas. Se reconoció así, poco a poco, la importancia de la comunicación en la formación de ingenieras e ingenieros, además de las habilidades y conocimientos técnicos.

ESCRIBIR PROFESIONALMENTE: ENTRE LA TRADICIÓN Y LO COTIDIANO

Se suele asociar a quienes egresan de estudios universitarios del área de Ciencias Sociales y Humanidades con prácticas habituales que requieren la escritura. Debido a las funciones específicas de estas disciplinas, hay una permanente producción de textos, por lo que la escritura es una habilidad primordial para la eficacia del ejercicio profesional. Por ejemplo, en la literatura y el periodismo no se concibe un

experto que no tenga que escribir cotidianamente en su profesión. En derecho, los abogados deben integrar expedientes, redactar demandas judiciales, contratos y dictámenes, entre muchos otros documentos caracterizados por su precisión terminológica, estructura y estándares propios. En la administración, géneros como informes ejecutivos, memorandos, reportes financieros y planes con distinto alcance y función requieren claridad, concisión y orientación a la toma de decisiones. En el ámbito de la investigación, los artículos científicos, los protocolos de investigación y las reseñas críticas son géneros fundamentales para mostrar dominio en la profesión y hacer aportes al conocimiento.

En contraste, las prácticas de ingeniería no suelen percibirse, en general, como actividades donde se escriba regularmente. Tal vez por sus antecedentes históricos y culturales, cuya base se centra en las ciencias básicas, en los conocimientos técnicos y las habilidades asociadas para resolver problemas de mantenimiento, fabricación o diseño.

TRANSICIÓN HACIA LAS HABILIDADES BLANDAS

Las prácticas actuales de la ingeniería incluyen a la escritura técnica y ejecutiva, con características y funciones propias, como parte esencial de la disciplina. La necesidad global y continua de profesionales recién graduados que contaran con habilidades blandas más sólidas, incluyendo la comunicación escrita efectiva, comenzó a ser una preocupación constante desde la década de 1980 por parte de la industria (Felder, 2012). Se empezó a percibir que quienes tenían éxito al egresar de ingeniería no solo dominaban aspectos técnicos de su especialidad, sino que también comunicaban sus ideas más efectivamente.

Las demandas profesionales comenzaron a centrarse no solo en la capacidad técnica, sino también en las habilidades para colaborar, liderar y comunicarse con equipos interdisciplinarios y multiculturales, lo que provocó cambios en la educación de ingenieras e ingenieros. De tal manera que la escritura en la ingeniería comenzó a formar parte integral

de los planes de estudio en todo el mundo, aunque no de manera homogénea. Investigaciones recientes indican que cerca del 70 % de los empleadores consideran las habilidades de comunicación como un criterio crucial en sus procesos de contratación, y el 93 % busca candidatos que puedan demostrar competencias sólidas en esta área (Kaushik, 2025). Estas necesidades han sido más evidentes en contextos globalizados y digitalizados, donde las ingenieras y los ingenieros deben presentar sus ideas de forma clara a audiencias diversas. Las consecuencias de ignorar la forma de lograrlo pueden provocar obstáculos en el desarrollo profesional. Además, se pueden generar barreras en la interacción entre profesionales de la ingeniería y grupos interdisciplinarios, tanto con compañeras y compañeros de trabajo, como con gerentes, personal administrativo, de inspección y proveeduría, por mencionar algunos.

ESCRIBIR EN LOS ESTUDIOS DE INGENIERÍA

Los anuncios de empleo que solicitan ingenieras e ingenieros frecuentemente piden competencias comunicativas, especialmente en escritura técnica, gestión de proyectos y habilidades de colaboración en equipos multidisciplinarios. Por lo que es necesario reconocer, más allá de las tradiciones en la formación técnica en ingeniería, que las prácticas de escritura específicas de la profesión deben integrarse en la formación universitaria, al igual que en otras disciplinas.

Desde mediados del siglo XX, se comenzaron a dar cambios en los programas de estudio de ingeniería para adaptarse a las demandas del mercado laboral. Algunas instituciones de educación superior rediseñaron sus programas para incorporar explícitamente la escritura académica en asignaturas especializadas o a través de centros de escritura con enfoque en ingeniería. Esta perspectiva ha mostrado que integrar la escritura como herramienta de aprendizaje, además de medio para comunicarse interdisciplinariamente, permite a las futuras ingenieras e ingenieros comunicar con mayor claridad sus propuestas y adaptarse a entornos laborales complejos

(Guerrero et al., 2023). Situación que no se vislumbraba en los inicios de la formación en esta disciplina.

Alrededor del mundo se han implementado distintas modalidades para la formación en comunicación escrita a lo largo de los programas de ingeniería (Guerrero et al., 2023). En general, en los estudios universitarios se enseña a escribir para aprender y para demostrar lo aprendido. Sin embargo, también se suelen practicar los géneros propios de la ingeniería en el desarrollo profesional. De tal manera que la enseñanza de la escritura se da a través de cursos aislados, en las propias asignaturas de ingeniería y de ingeniería aplicada, durante la carrera y con enfoques interdisciplinarios, de acuerdo con el diseño de cada plan de estudios. Ahora se sabe que, tanto las habilidades verbales como las no verbales, incluidas la escritura técnica y profesional, influyen en la empleabilidad de quienes egresan de ingeniería y tienen una relación directa con el éxito en su profesión. Incluso, hay investigaciones que muestran que un profesional de la ingeniería puede dedicar más

© Rafael Pareja. De la serie *Gente del caribe colombiano*, 2022.





© Rafael Pareja. De la serie *Gente del Caribe colombiano*, 2022.

del 30 % de sus horas laborales a escribir (Paretti et al., 2014), a diferencia de lo que podría pensarse por la tradicional visión de ser ingeniera o ingeniero.

LAS FUNCIONES DE LA ESCRITURA EN LA INGENIERÍA

Las habilidades de comunicación de quienes egresan de ingeniería son habilidades críticas en el desarrollo profesional, ya sea en el ámbito operativo, de ventas, mantenimiento, auditoría, diseño o investigación. La escritura, además de permitir la transmisión de ideas con mayor claridad, también posibilita organizar el pensamiento, interactuar virtualmente en proyectos interdisciplinarios y difundir las mejores prácticas.

Dentro de los múltiples documentos técnicos propios de la ingeniería se encuentran los reportes, manuales, instructivos, folletos y catálogos, adicionalmente a los mismos documentos que se utilizan administrativa o comercialmente en otras áreas, tales como memorandos, cartas y correos electrónicos con propósitos diferenciados, lo que facilita el control minucioso de procesos y resultados.

En cualquier área, incluso errores aparentemente menores, como la comunicación incorrecta de unidades de medida, pueden llevar a graves daños medioambientales, pérdidas económicas considerables e incluso pérdidas humanas (Paretti et al., 2014). Más allá de las percepciones que tengan los profesionales de la ingeniería sobre su propia disciplina y área de desempeño, la capacidad de comunicación profesional con rigor y claridad puede tener un fuerte impacto en los proyectos de desarrollo tecnológico, con consecuencias significativas en la comunicación. Aunque en la historia de la ingeniería ha habido accidentes en todo el mundo que han costado innumerables vidas humanas y grandes pérdidas económicas por falta de una adecuada comunicación escrita, la documentación se encuentra dispersa y es de difícil acceso.

Un caso reconocido internacionalmente, que ejemplifica cómo los errores y las interferencias en la comunicación entre el personal administrativo y



© Rafael Pareja. De la serie *Gente del caribe colombiano*, 2022.

de ingeniería pueden llevar a interpretaciones incorrectas de los datos técnicos, es la explosión del transbordador espacial Challenger en 1986 (Winsor, 1988). Este accidente tuvo enormes repercusiones, incluyendo la muerte de los siete tripulantes y la pérdida de millones de dólares invertidos en la misión.

Un caso no tan conocido es el colapso de los pasillos elevados del Hotel Hyatt Regency, en 1981, en la ciudad de Kansas, Estados Unidos, donde murieron 114 personas y hubo más de 200 heridos. Durante su construcción, se aprobó, por medio de una llamada telefónica, el cambio de un soporte con una sola varilla a otro con dos varillas roscadas. Esto duplicó la carga que debía soportar la conexión y provocó el derrumbe de los pasillos. Las investigaciones de la Oficina Federal de Estándares señalaron a la comunicación deficiente entre diseñadores, contratistas y supervisores, y a la ausencia de revisión formal como las causas principales de este accidente. La información se tenía que haber dado por escrito.

TENSIONES ENTRE EL ASPECTO TÉCNICO Y LA COMUNICACIÓN

Durante décadas, la formación en ingeniería se ha desarrollado con énfasis en las matemáticas, las ciencias básicas y los temas de especialidad, dejando a la escritura un papel secundario.

Quienes defienden y han defendido esta postura consideran que los programas de estudio ya están sobrecargados de asignaturas, por lo que considerar temas para la mejora de la comunicación disminuiría tiempo a los aspectos técnicos y a las prácticas. Sin embargo, las empresas que contratan ingenieras e ingenieros señalan problemas derivados de una mala comunicación; mientras que quienes recién egresan de programas de ingeniería reconocen haber aprendido a “escribir” de manera improvisada en el trabajo. Suponer que el aprender a escribir profesionalmente puede esperar, pone en riesgo las oportunidades laborales.

En contraste, los programas para la acreditación de programas de ingeniería contemplan el saber comunicarse eficazmente con diversas audiencias y equipos multidisciplinarios.

Sin duda, los reportes claros aceleran la aprobación de proyectos, mientras que, por la propia tradición en la formación de ingeniería, tanto los estudiantes como sus profesores perciben los ejercicios de escritura como ajenos a su identidad profesional. Es, pues, necesario indagar sobre propuestas pedagógicas innovadoras que conecten la técnica con el rigor en la comunicación escrita.

PROPUESTAS PARA FOMENTAR LA ESCRITURA EN INGENIERÍA

A pesar de que actualmente existen en diversas instituciones centros de escritura especializados en ingeniería (Guerrero et al., 2023), es necesario aún desarrollar materiales y actividades que simulen la escritura profesional en este ámbito. Como ejemplo, a continuación se proponen tres actividades para fomentar la escritura en ingeniería:

Organizar talleres de ingeniería inversa de documentos, en los que se podría trabajar con reportes reales y analizar cada una de sus partes y sus recursos de comunicación, tal como se realiza con un prototipo mecánico. Lo que permitiría asemejar un texto con un mecanismo formado por distintas piezas, similar a un prototipo de ingeniería.

Presentar estudios de casos de fracasos célebres de ingeniería asociados con una mala comunicación.

En ellos se podrían elaborar reportes escritos que presenten conclusiones después de un análisis detallado en aspectos de seguridad de lo sucedido.

Implementar talleres con profesionales de ingeniería que muestren la importancia de la comunicación escrita para su éxito profesional y la forma en que la escritura les ha permitido resolver problemas en su área laboral.

CONCLUSIÓN

Comprender que las personas dedicadas a la ingeniería también escriben es esencial para replantear la imagen tradicional de esta profesión.

Reconocer la importancia de la escritura en la ingeniería implica cuestionar la visión cultivada a lo largo de la historia. La capacidad de escribir competentemente permite interacciones que no están sujetas a la interpretación y posibilita la claridad de lo que se desea expresar en cualquier área. En la ingeniería, la confusión en lo que se intenta transmitir puede poner en riesgo gran cantidad de vidas humanas y de múltiples especies, además de provocar catástrofes ambientales inimaginables y pérdidas económicas considerables. Escribir en ingeniería es una competencia fundamental, no un recurso complementario. Así, al igual que en otras profesiones que tradicionalmente se han distinguido porque su principal forma de comunicación es la escritura especializada, en la ingeniería se requiere tanto contar con conocimientos y habilidades técnicas como dominar la comunicación escrita.

REFERENCIAS

- Felder RM (2012). *Engineering Education: A Tale of Two Paradigms*. En McCabe B, Pantazidou M and Phillips D (Eds.), *Shaking the Foundations of Geo-Engineering Education* (pp. 9-14). CRC Press. Recuperado de: <https://engr.ncsu.edu/wp-content/uploads/drive/196QvNYSmZ9QawFvoJwRfed8nXFGv7G/2012-TwoParadigms.pdf>.
- Grelon A y Gouzévitch I (2004). *Reflexión sobre el ingeniero europeo en el siglo XIX: retos, problemáticas e historiografías*. En Silva Suárez M (Ed.), *Técnica e ingeniería en España* (pp. 269-321). Real Academia de Ingeniería.
- Guerrero R, Farfán De Rojas M y Lara Rincón JD (2023). *La escritura académica en ingeniería: Un acercamiento al caso hispanoamericano*. Enunciación, 28(1):34-51. DOI: <https://doi.org/10.14483/22486798.20381>.



© Rafael Pareja. De la serie *Gente del caribe colombiano*, 2022.

- Kaushik A (2025). *Growing Importance of Communication Skills in Engineering Roles*. We Create Problems. Recuperado de: <https://www.wecreateproblems.com/blog/importance-of-communication-skills-in-engineering-roles#:~:text=Modern%20engineering%20projects%20often%20require,ideas%20can%20be%20shared%20openly>.
- Paretti MC, McNair LD and Leydens JA (2014). *Engineering Communication*. En Johri A and Olds BM (Eds.), *Cambridge Handbook of Engineering Education Research* (1a ed., pp. 601–632). Cambridge University Press. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139013451.038>.
- Reynolds TS (1992). The Education of Engineers in America before the Morrill Act of 1862. *History of Education Quarterly* 32(4):459-482. DOI: <https://doi.org/10.2307/368959>.
- Romero Romay V (Director) (2022). Los ingenieros en el México posrevolucionario y la fundación de la universidad nacional (1910-1957). Video recuperado de: https://www.youtube.com/watch?v=NclrZ_t7Fps.
- Tanamachi Castro G y Ramos Lara M de la P (2014). La Escuela Nacional de Ingenieros, fundamental en el nacimiento de la física profesional en México. *Revista Mexicana de Física E* 60(2):116-129.
- UNAM. (1993). Plan de Desarrollo 1999-2003. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de: https://www.ingenieria.unam.mx/planeacion/documentos/docsconsulta07_11/pdd99_03.pdf.
- Winsor DA (1988). *Communication failures contributing to the Challenger accident: An example for technical communicators*. IEEE Transactions on Professional Communication, 31 (3):101-107. DOI: <https://doi.org/10.1109/47.7814>.
- María Dolores Flores Aguilar**
Instituto Tecnológico de Mazatlán
Tecnológico Nacional de México
ma.dolores.flores@gmail.com



© Rafael Pareja. De la serie *Gente del caribe colombiano*, 2022.



© Rafael Pareja. De la serie *Gente del caribe colombiano*, 2022.

© **Rafael Pareja**. De la serie *Gente del caribe colombiano*, 2022.





