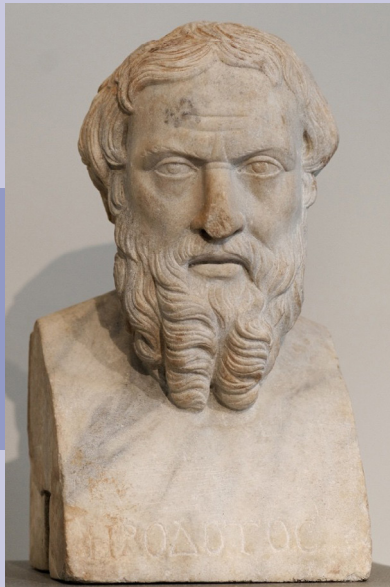


BOLETÍN



Heródoto: historiador, etnógrafo, geógrafo y ¿geólogo?

Vol. LXXXV, n.º 2
Julio-diciembre 2025

BOLETÍN



Vol. LXXXV, n.º 2, 2025

VENEZUELA

© Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales

Comisión Editorial

Deanna Marcano - Editor jefe
Ismardo Bonalde
Gioconda Cunto de San Blas

Depósito Legal: DC202000891
ISSN: 2665-0444

Edición Digital 2025

Coordinación de edición

Pamela Navarro
Deanna Marcano

Diseño y diagramación

María Alejandra Ramírez

Imágen de portada: [Wikimedia Commons](#)

Publicación oficial semestral de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales
Palacio de las Academias, av. Universidad, Apartado de Correo 1421. Caracas, 1010-A. Venezuela

El material publicado en el Boletín podrá ser reproducido total o parcialmente, siempre que se indique la fuente.
Las opiniones expresadas en los apartados firmados son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales

Junta de Directores 2023-2025

<i>Presidente</i>	Liliana López
<i>Primer vicepresidente</i>	Claudio Bifano
<i>Segunda vicepresidente</i>	Flor Pujol
<i>Secretaria Académica</i>	Deanna Marcano
<i>Tesorero</i>	Antonio Machado Allison
<i>Bibliotecario</i>	Jorge Mostany

Individuos de Número

I.	Alicia Ponte Sucre
II.	Arnoldo Gabaldón
III.	Antonio Machado Allison
IV.	Claudio Bifano
V.	Eduardo Buroz
VI.	VACANTE
VII.	Vidal Rodríguez Lemoine
VIII.	VACANTE
IX.	Wolfgang Scherer Gruber
X.	María Eugenia Grillet
XI.	Jorge Mostany
XII.	Carlos Machado Allison
XIII.	María Soledad Tapia
XIV.	Benjamín Scharifker
XV.	José Grases Galofre
XVI.	Flor Helene Pujol
XVII.	Ignacio L. Iribarren
XVIII.	Alicia Villamizar (electa)
XIX.	VACANTE
XX.	Gioconda Cunto de San Blas
XXI.	Mireya R. de Goldwasser
XXII.	Margarita Lampo
XXIII.	Deanna Della Casa de Marcano
XXIV.	VACANTE
XXV.	Liliana López
XXVI.	Jaime Requena
XXVII.	Carlos A. Di Prisco
XXVIII.	Franco Urbani
XXIX.	José Luis Paz
XXX.	Ismardo Bonalde

Miembros Correspondientes Nacionales

Jorge Baralt Torrijos
Pedro Berrizbeitia
Lelis Bravo de Guenni
José Rafael León
Miguel Octavio

Miembros Correspondientes Extranjeros

<i>Argentina</i>	Jorge Rabinovich
<i>Armenia</i>	Gurgen P. Tamrazyan
<i>Brasil</i>	Hernan Chaimovich Eduardo Falabella Sousa-Aguiar
<i>Canadá</i>	Howard Alper
<i>Colombia</i>	Jorge Arboleda Valencia
<i>España</i>	Rafael Heras Rodríguez María Josefa Yzuel
<i>Estados Unidos</i>	Shirley Ann Jackson Chen Ning Yang Michael Clegg Gerardine Botte
<i>Francia</i>	Francois Gros Pierre Lena George Perrier Guillelan France
<i>Italia</i>	Julián Chela Flores
<i>México</i>	Luis Esteva Maraboto
<i>Reino Unido</i>	Sir Ernest Ronald Oxburgh Sir John Meurig Thomas Audrey Butt
<i>Trinidad y Tobago</i>	Harold Ramkinsoon

CONTENIDO

Editorial	V
Ensayo a propósito de Humberto Fernández-Morán Villalobos (1924-1999) <i>José Esparza, Raúl Padrón y Jaime Requena</i>	1
Heródoto: historiador, etnógrafo, geógrafo y ¿geólogo? <i>Jhonny Edgar Casas</i>	7
Esperanza y luto en el Antropoceno: entendiendo el duelo ecológico <i>Antonio Machado-Allison</i>	23
Crisis y esperanza: la ciencia en Venezuela y los desafíos del presente <i>Benjamín Scharifker</i>	33
Helminths Parasites of Harlequin Frog (<i>Atelopus cruciger</i>) from Venezuela <i>Israel Cañizales</i>	39
Guía para los autores	61

EDITORIAL

En este último *Boletín Volumen LXXXV, 2025, nro. 2*, cerramos el año 2025 de las publicaciones periódicas de Acfiman. Un año que ha estado marcado por incertidumbre económica y social en el país. En el contexto del desarrollo de los avances científicos, Venezuela sigue relegada. El deterioro de las universidades en cuanto al relevo de investigadores que sean docentes de calidad para impartir el conocimiento que requieren nuestras nuevas generaciones está ausente. No se puede seleccionar hacer carrera como docente-investigador de una universidad sin considerar los bajos salarios y la escasa fuente de dinero necesaria para la docencia y la investigación. Lo descrito puede verse a mayor profundidad en el artículo de este número *Crisis y esperanza: la ciencia en Venezuela y los desafíos del presente*, por Benjamín Scharifker. Mientras que el Ensayo a propósito de *Humberto Fernández-Morán Villalobos (1924-1999)*, de los autores José Esparza, Raúl Padrón y Jaime Requena, plasma la presencia de científicos destacados en Venezuela en el siglo XX. Recomiendo aquí, ya que hablamos de ciencia, el artículo de Jhonny Edgar Casas: *Heródoto: historiador, etnógrafo, geógrafo y ¿geólogo?*

La crisis en la docencia e investigación también se evidencia en la disminución del número de estudiantes universitarios, y aquí una pregunta que no podemos medir por ausencia de claras estadísticas que nos permitan afirmarlo: ¿Es esto el resultado de un menor número de jóvenes a estudiar en las universidades debido a la migración de muchas familias venezolanas, o es consecuencia de la deserción de muchos jóvenes de los estudios básicos de primaria y secundaria? La segunda causa se une a la crisis social, ya que en muchos casos los jóvenes venezolanos se ven en la obligación de abandonar sus estudios debido a problemas económicos. Esta es una realidad que no solo toca todos los ámbitos de vida de los venezolanos, y que todos sabemos requiere pronta atención por parte de las autoridades que correspondan.

Adicionalmente, es necesario considerar la necesidad del cuidado del ambiente y el cuidado de las especies, lo que refleja un país en progreso y con salud para sus habitantes. Al respecto, este número cuenta con dos artículos dedicados a ese tema: *Esperanza y luto en el Antropoceno: entendiendo el duelo ecológico* de Antonio Machado-Allison y *Helminchos parásitos del sapito rayado (Atelopus cruciger) de Venezuela* de Israel Cañizales.

Este volumen del Boletín de Acfiman, demuestra nuestro compromiso con Venezuela. Como parte de nuestra misión de promover, integrar y difundir el avance del conocimiento científico y tecnológico en el país. Para ello también debe de promover y velar por la calidad de los estudios en las áreas de su competencia y en la creación de conocimiento científico y tecnológico para el bienestar social y el desarrollo sustentable de nuestra nación.

Liliana López

ENSAYO A PROPÓSITO DE HUMBERTO FERNÁNDEZ-MORÁN VILLALOBOS (1924-1999)

REFLECTIONS ON HUMBERTO FERNÁNDEZ-MORÁN VILLALOBOS (1924– 1999)

José Esparza¹, Raúl Padrón² y Jaime Requena³

RESUMEN

El 17 de marzo de 2025, los restos de Humberto Fernández-Morán se trasladaron al Panteón Nacional, reconociendo su legado como uno de los científicos más destacados de Venezuela. Nacido en Maracaibo en 1924, fue pionero en microscopía electrónica, inventor del cuchillo de diamante para cortes en el ultramicrotomo y creador del Instituto Venezolano de Neurología e Investigaciones Cerebrales (IVNIC), germen del actual Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). En su exilio voluntario en los Estados Unidos trabajó en diferentes proyectos de microscopía electrónica, particularmente el desarrollo de la criomicroscopía electrónica. Aunque enfrentó controversias y aislamiento, su visión modernizadora dejó una huella profunda en la ciencia venezolana. Fernández-Morán no fue un mito, sino un científico brillante cuya vida sigue siendo fuente de inspiración para las futuras generaciones.

ABSTRACT

On March 17, 2025, the remains of Humberto Fernández-Morán were transferred to the National Pantheon, in recognition of his legacy as one of Venezuela's most prominent scientists. Born in Maracaibo in 1924, he was a pioneer in electron microscopy, the inventor of the diamond knife for ultramicrotome sectioning, and the founder of the Venezuelan Institute of Neurology and Brain Research (IVNIC), which later evolved into the current Venezuelan Institute for Scientific Research (IVIC). During his voluntary exile in the United States, he worked on various electron microscopy projects, particularly the development of cryo-electron microscopy. Although he faced controversy and isolation, his modernizing vision left a profound mark on Venezuelan science. Fernández-Morán was not a myth, but a brilliant scientist whose life remains a source of inspiration for future generations.

Palabras clave: Humberto Fernández-Morán, IVIC, IVNIC, microscopía electrónica.

Keywords: Humberto Fernández-Morán, IVIC, IVNIC, electronic microscopy.

Los restos mortales del científico venezolano Dr. Humberto Fernández-Morán Villalobos (Humberto Fernández-Morán) se trasladaron al Panteón Nacional de Venezuela el 17 de marzo de 2025, veintiséis años después de su fallecimiento en 1999 en Estocolmo, Suecia. Durante un cuarto de siglo, sus cenizas reposaron junto a las de su padre, Luis Fernández-Morán, en el Cementerio El Cuadrado de Maracaibo, ciudad que tanto amó y donde había nacido en 1924.

Fernández-Morán fue uno de los científicos venezolanos de mayor proyección internacional en la segunda mitad del siglo XX. Quienes tuvimos el privilegio de conocerlo fuimos pro-

fundamente impresionados por su excepcional inteligencia, su energía incansable, su visión de futuro, su carisma natural y su notable capacidad de persuasión. No obstante, pocos pudieron afirmar que conocían al hombre detrás del genio: una figura enigmática, rodeada con el paso del tiempo de un aura de leyenda. Este mito, en ocasiones, opacó el valor genuino del científico y del venezolano que dedicó su vida a la búsqueda del conocimiento. Recuperar la imagen de un Humberto Fernández-Morán despojado de ficciones puede ofrecer una fuente genuina de inspiración para las nuevas generaciones de científicos venezolanos [1-3]. La controversia que rodea la figura de Fernández-Morán es un común denominador en to-

- 1 José Esparza. Miembro Honorario del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Académico Correspondiente Extranjero de la Academia Nacional de Medicina de Venezuela. Profesor Adjunto del Instituto de Virología Humana de la Escuela de Medicina de la Universidad de Maryland, Baltimore, EE. UU. Correo-e: jose.esparza5@live.com
- 2 Raúl Padrón. Profesor en la Escuela de Medicina Chan de la Universidad de Massachusetts, Worcester, EE. UU. Investigador Titular Emérito y fundador del antiguo Centro de Biología Estructural «Dr. Humberto Fernández-Morán» del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). Miembro Internacional de la Academia de Ciencias de los Estados Unidos. Correo-e: raul.padron@umassmed.edu.
- 3 Jaime Requena. Individuo de Número de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales de Venezuela (Acfiman). Correo-e: requena.j@gmail.com

dos los relatos sobre su vida y obra. Este ensayo tiene como propósito, entre otras cosas, dimensionar tanto al hombre de ciencia como al servidor público.

El joven Humberto cursó la mayor parte de su educación primaria y secundaria en Nueva York y culminó el bachillerato en Alemania en 1939. En 1944 se graduó como médico en la Universidad de Múnich, con tan solo 20 años de edad, y poco después regresó a Venezuela, donde revalidó su título en la Universidad Central de Venezuela (UCV). Entonces comenzó a desarrollar un interés por la neuropsiquiatría, lo que lo llevó a entrenarse en 1945 en la Universidad George Washington de Washington D. C., donde se familiarizó con la lobotomía transorbitaria, técnica quirúrgica utilizada entonces para el tratamiento de la esquizofrenia. A su regreso a Venezuela, en 1946, realizó 25 lobotomías en pacientes del Hospital Psiquiátrico de Maracaibo, demostrando una gran destreza [4,5].

A finales de 1946, se incorporó como asistente extranjero al Instituto Karolinska en Estocolmo, Suecia, donde trabajó junto a Manne Siegbahn, premio nobel de Física en 1924, quien había desarrollado su propia versión de un microscopio electrónico. Este ambiente de excelencia permitió a Humberto Fernández-Morán incursionar en el incipiente campo de la microscopía electrónica, y allí desarrolló su famosa cuchilla de diamante para ultramicrotomía, un procedimiento innovador para obtener cortes ultrafinos de tejido biológico para su estudio con el microscopio electrónico [6]. Este invento marcó su transición definitiva de la medicina clínica a la investigación básica. Su tesis doctoral, defendida en la Universidad de Estocolmo en 1952, abordó la estructura submicroscópica de las fibras nerviosas y fue una de las primeras en describir, utilizando microscopía electrónica, la organización concéntrica de la mielina [7]. Así, Fernández-Morán se consolidó como un referente internacional en la naciente comunidad de microscopía electrónica.

Desde Suecia, Fernández-Morán comenzó a trazar las bases para su futura contribución científica y tecnológica a Venezuela. En 1950, con apenas 26 años, publicó en la revista *Acta Científica Venezolana* una propuesta para la creación de un instituto para investigaciones del cerebro [8]. Su propuesta no solo planteaba introducir una nueva línea de investigación en el ámbito universitario, sino que destacaba la necesidad de profesionalizar e institucionalizar la ciencia y la tecnología, elevándolas a la categoría de asuntos de Estado. Fernández-Morán propuso que la institución recibiera financiamiento estatal mediante asignaciones presupuestarias anuales, una visión audaz para una Venezuela poco habituada a este tipo de iniciativas. En 1951, presentó un «Programa Funcional para un Instituto Venezolano de Neurología, Neuropsiquiatría e

Investigaciones Cerebrales». Su visión resultó muy innovadora en un contexto nacional poco acostumbrado a ese tipo de iniciativas, y se recibió con escepticismo por una comunidad científica renuente a respaldar a un joven considerado como un forastero. Fernández-Morán persistió, buscando el respaldo político del gobierno de Marcos Pérez Jiménez, particularmente del ministro de Sanidad, Pedro Gutiérrez Alfaro.

Es así como el 20 de mayo de 1953, el Ministerio de Sanidad encargó a Fernández-Morán un estudio de factibilidad de un futuro Instituto Venezolano de Neurología e Investigaciones Cerebrales (IVNIC), con un costo estimado entre 30 y 50 millones de dólares. El 29 de abril de 1954, el gobierno decretó su creación como instituto autónomo, con sede en Altos de Pipe, una zona montañosa cerca de Caracas, que Fernández-Morán eligió personalmente. La construcción del IVNIC comenzó el 29 de enero de 1955, y el 23 de diciembre del mismo año se inauguró formalmente [9].

A mediados del siglo XX, la mayor parte de la investigación científica en Venezuela, particularmente la médica, se llevaba a cabo en la Universidad Central de Venezuela (UCV), cuyo presupuesto total en 1950-1951 fue de 15.5 millones de bolívares. La Facultad de Medicina recibió 3.2 millones, y sus institutos de investigación apenas 354 690 bolívares en total (unos 106 mil dólares). En contraste, el balance de caja del IVNIC fue de Bs. 21.5 millones en 1956 y Bs. 41.8 millones en 1957 (US\$ 7.28 y 14.13 millones, respectivamente), representando en promedio el 0.12 % del PIB entre 1954 y 1957. Para dimensionar la magnitud de esta inversión en ciencia y tecnología bajo el gobierno de Pérez Jiménez, basta señalar que equivalía al presupuesto anual del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT) en sus primeros años (1970-1974) o durante la crisis de los años 80. Esta situación marcó un giro radical en el paradigma científico nacional impulsado por Humberto Fernández-Morán.

El IVNIC se concibió con tecnología de punta para la época: laboratorios, biblioteca, talleres y el célebre reactor nuclear RV-1, parte del programa «Átomos para la Paz». Aunque Fernández-Morán era el único investigador residente, logró atraer a destacados científicos internacionales, tales como el neurofisiólogo finlandés Gunnar Svaetichin y el virólogo austriaco Gernot Bergold (quien fue mentor de uno de los coautores, JE). Las investigaciones del IVNIC se centraron en microscopía electrónica, neurofisiología y biofísica, y se publicaron en revistas de alto impacto. Tanto Svaetichin como Bergold murieron en Venezuela y dejaron escuela en nuestro país.

En los años 50, la ciencia y la tecnología se veían como claves para superar el atraso y alcanzar el progreso de los países desarrollados. En ese contexto, Humberto Fernández-Morán se destacó por sus inventos y descubrimientos, pero, sobre

todo, por la creación del IVNIC, lo que le otorgó un prestigio nacional e internacional excepcional, convirtiéndolo en símbolo del científico moderno en Venezuela. Durante esos años en Venezuela, Fernández-Morán obtuvo importantes reconocimientos: fue nombrado profesor contratado de Biofísica de la Facultad de Medicina de la UCV en 1951 y electo en 1953 como Individuo de Número (sillón XXVI, hoy ocupado por uno de los coautores de este ensayo, JR) de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales de Venezuela (Acfiman).

Sin embargo, su estrecha relación con el régimen de Pérez Jiménez lo arrastró tras la caída de la dictadura en enero de 1958. Poco después, asumió brevemente el cargo de ministro de educación, lo que lo llevó a mediados de febrero de ese mismo año a exiliarse voluntariamente en los Estados Unidos.

Tras la caída de la dictadura, el nuevo liderazgo político del país, aunque también convencido del valor modernizador de la ciencia, no podía aceptar como referente a alguien vinculado al régimen de Marcos Pérez Jiménez. La gestión de Fernández-Morán en el IVNIC fue el blanco escogido para desfigurar su actividad como hombre de ciencia y servidor público, endilgándole el apodo de «el brujo de Pipe» por la aparente extravagancia de sus inventos, como la célebre cuchilla de diamante o sus complejos descubrimientos relacionados con la estructura fina del cerebro. El remoquete se lo endilgó en el año 1958 el escritor Mariano Picón Salas desde su columna de opinión del Diario El Nacional, en medio del fragor del revanchismo político que siguió a la caída de la dictadura.

Tras la salida de Fernández-Morán, el IVNIC fue reorganizado y rebautizado en 1959 como Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), con un enfoque renovado en la formación de científicos venezolanos y el fortalecimiento de la investigación multidisciplinaria.

Muchos investigadores del Instituto de Investigaciones Médicas de la Fundación Luis Roche se incorporaron al IVIC, marcando una nueva etapa.

A pesar de las tensiones que Fernández-Morán mantuvo con el medio científico nacional, sus aportes fueron posteriormente reconocidos por el IVIC. En consideración a que Fernández-Morán fue el fundador del IVNIC, precursor del IVIC, el Consejo Directivo del IVIC le confirió en 1998 la Medalla de Honor del IVIC y acordó designar el auditorio principal del instituto como «Auditorio Humberto Fernández-Morán». Asimismo, en 1997 el IVIC fundó el Centro de Biología Estructural «Humberto Fernández-Morán», con el primer criomicroscopio electrónico de Latinoamérica (fundado y dirigido por uno de los coautores de este ensayo, RP). En este sentido, es importante recordar que ya en 1985, Fernández-Morán había escrito que «el instituto que (él) había creado se había expandido y que bajo el nombre de IVIC

en los últimos 25 años había provisto una nueva generación de científicos con todos los recursos necesarios para llevar a cabo trabajos de investigación y de docencia... jugando un importante papel en el desarrollo cultural y científico de Venezuela y países vecinos» [10].

Tras el agitado año de 1958, Fernández-Morán se trasladó al Hospital General de Massachusetts (MGH) en Boston, centro afiliado a la Escuela de Medicina de Harvard. Entre 1958 y 1962, ocupó simultáneamente cargos como biofísico asociado en el MGH, investigador en neuropatología en Harvard y docente visitante en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT). Evitó involucrarse en la docencia, prefiriendo dedicarse plenamente a la investigación. Dirigió el Laboratorio Mixter de Microscopía Electrónica, parte de un centro financiado por la familia Mixter. Conservó su estilo autoritario, pero también mostró generosidad hacia sus técnicos y nostalgia por Venezuela.

En Boston colaboró con expertos de otras disciplinas, como David E. Green en estudios sobre mitocondrias y Samuel Collins, con quien desarrolló el criomicroscopio electrónico. En 1963 describió por primera vez, en colaboración con Green, las «partículas elementales» en las crestas mitocondriales, estructuras que vinculó con la síntesis de ATP [11,12]. Aunque inicialmente sus resultados fueron cuestionados y Green se distanció de ellos, estudios posteriores confirmaron su visión. En los años 60, Efraim Racker demostró que esas partículas correspondían a las subunidades F0 y F1 de la ATP sintasa, esenciales en la fosforilación oxidativa [13]. Ese largo camino de descubrimiento finalmente llevó en 1997, más de treinta años después de las observaciones de Fernández-Morán, al Premio Nobel de Química otorgado a Paul D., Boyer, y John E. Walker por «la elucidación del mecanismo enzimático de la síntesis de ATP» y a Jens C. Skou por «el descubrimiento de la enzima transportadora de iones, Na⁺ K⁺ ATPasa» [1,14]. Es así como las imágenes ultramicroscópicas de Fernández-Morán abrieron una nueva era en el estudio de las proteínas de membrana.

Su colaboración con Collins fue especialmente fructífera. En la Universidad de Chicago, Fernández-Morán integró un sistema de refrigeración con helio superfluido a su microscopio electrónico, lo que permitió estudiar sistemas biológicos a temperaturas cercanas al cero absoluto [15]. El uso de temperaturas criogénicas para la observación directa de especímenes biológicos «congelados-hidratados» con moléculas de agua vitrificadas, junto con la crio-sustitución bajo congelamiento, fueron propugnados por Fernández-Morán desde 1960 [16], introduciendo en 1963 el concepto de la criomicroscopía electrónica y construyendo en 1966 el primer criomicroscopio electrónico microscopio con lentes superconduc-

toras a la temperatura de helio líquido en la Universidad de Chicago [17]. Este prototipo de criomicroscopio electrónico le permitió registrar las primeras criomicrografías electrónicas de catalasa congelada-hidratada a 80 Å de resolución, espécimen que se convirtió en la referencia usada en los años subsiguientes para evaluar la resolución alcanzada por los nuevos criomicroscopios electrónicos. La resolución atómica alcanzada, junto al desarrollo de poderosos criomicroscopios electrónicos, produjo un incremento explosivo en la determinación de estructuras de biomoléculas, cuyas consecuencias médicas y farmacológicas hemos presenciado desde el 2014, con la llamada «Revolución de la Resolución» [17] reconocida con el otorgamiento a Richard Henderson, Joachim Frank y Jacques Dubochet del Premio Nobel de Química en el 2017, por su contribución al desarrollo de la criomicroscopía electrónica de partículas aisladas [18]. En el documento emitido por la Real Academia Sueca de las Ciencias para justificar el Premio Nobel, entre los antecedentes de los científicos premiados, se reconocen los esfuerzos tempranos de Fernández-Morán en criomicroscopía electrónica.

Años antes, en 1968, Fernández-Morán había recibido dos nominaciones al Premio Nobel en Fisiología o Medicina, por sus contribuciones al estudio de la ultraestructura celular por medio del uso del microscopio electrónico, con especial mención al desarrollo de la cuchilla de diamante, pero no fue seleccionado [19].

A pesar de sus logros, su paso por Chicago estuvo marcado por conflictos. Era percibido como distante y poco accesible para estudiantes y colegas, y se mostraba reacio a compartir sus equipos. Su reputación como científico brillante, pero difícil, complicó la dinámica del departamento y su capacidad de atraer colaboradores. Su colaboración con la NASA le permitió en 1970 analizar rocas lunares del programa Apolo, utilizando su cuchilla de diamante para obtener cortes ultrafinos de estas muestras [20]. Sin embargo, su producción científica disminuyó durante los años setenta. Aunque seguía promoviendo ambiciosos planes para el desarrollo científico, sus publicaciones se redujeron y el financiamiento menguó. En 1981 anunció su retiro de la Universidad de Chicago, que se hizo efectivo en 1986, expresando su deseo de regresar a Venezuela.

A medida que se diluía el estigma político de su asociación con Pérez Jiménez, Fernández-Morán comenzó a visitar Venezuela, promoviendo la creación de un complejo politécnico de avanzada para la formación científica y tecnológica de los jóvenes. En efecto, Fernández-Morán nunca olvidó sus orígenes. Como buen hijo de El Saladillo, honró en todo momento y circunstancia a su raíz marabina; viviendo fuera del país, en sus últimos años de residencia en Chicago, su tarjeta de presentación listaba como dirección postal de habitación,

el Apartado 362 de Maracaibo. Desafortunadamente, en 1988 sufrió el primero de varios accidentes cerebrovasculares, que finalmente lo llevaron a la muerte en 1999.

En resumen, Humberto Fernández-Morán fue un hombre de inteligencia brillante, ambición desbordante y pasión por la ciencia, que alcanzó logros notables, pero también enfrentó reveses significativos. Su mayor legado a Venezuela fue la creación del IVNIC a los 30 años, no solo por su juventud, sino por la ambiciosa visión y rigurosa planificación que lo hicieron posible.

Ese instituto, transformado luego en el IVIC bajo el liderazgo de Marcel Roche, se convirtió en pieza clave de la institucionalización científica del país, esta vez con respaldo democrático y participación de la comunidad académica.

En 1956, Fernández-Morán justificó la creación del IVNIC con palabras que hoy siguen vigentes: «la investigación científica no es un lujo, es una necesidad» [21]. Sin embargo, la pérdida del IVNIC lo marcó profundamente. Aunque siempre quiso regresar, nunca logró adaptarse del todo al nuevo contexto político y científico venezolano, ni al entorno competitivo de la ciencia estadounidense.

Humberto Fernández-Morán no es un mito, sino que fue un científico excepcional cuya vida ofrece lecciones valiosas. Sin idealizaciones, su historia continúa siendo fuente de inspiración para las nuevas generaciones de investigadores venezolanos.

Referencias

- [1] Esparza, J., Padrón, R. Un análisis de la obra científica de Humberto Fernández-Morán, a veinte años de su muerte. *Gac Méd Caracas* **126**, 303-324 (2018).
- [2] Rivas Cols, C. *Humberto Fernández-Morán, de frente y de perfil*. Caracas. Editorial Arte (2005).
- [3] Requena, J. H. *Fernández-Morán*. Biblioteca Biográfica Venezolana. Caracas, Editorial Arte (2011).
- [4] Fernández-Morán, H. Leucotomía e inyecciones en los lóbulos frontales por la vía transorbitaria. Estudio de 25 intervenciones. *Arch Venez Soc OtoRinoLaringol Oftal Neurol* **7**, 109-192 (1946).
- [5] Esparza, J. Las lobotomías practicadas en 1946 por Humberto Fernández-Morán en Maracaibo, Venezuela (o cómo un joven médico decidió dedicarse a la investigación científica básica. *Invest Clín* **59**, 278-290 (2018).
- [6] Fernández-Morán, H. A diamond knife for ultrathin sectioning. *Exp Cell Res* **5**, 255-256 (1953).
- [7] Fernández-Morán, H. *The submicroscopic organization of vertebrate nerve fibers as revealed by electron microscopy*. Disertación Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Estocolmo. Upsala (1952).

- [8] Fernández-Morán, H. Ideas generales sobre la fundación de un Instituto Venezolano para Investigaciones del Cerebro. *Acta Cient Venez* **1**, 85-87 (1950).
- [9] Soyano A., Müller, A. Humberto Fernández-Morán y la creación del Instituto Venezolano de Neurología e Investigaciones Cerebrales (IVNIC, 1954-1959). *Rev Soc Venez Hist Med* **67** (1-2), (2018).
- [10] Fernández-Morán, H. Cryo-electron microscopy and ultramicrotomy: Reminiscences and reflections. En: *The beginning of Electron Microscopy* (Editor: Hawkes P.W): 167-223 (1985).
- [11] Fernández-Morán, H. Subunit organization of mitochondrial membrane. *Science* **140**, 381 (1963).
- [12] Fernández-Morán, H., Oda, T., Blair, P.V., Green, D.E. A macromolecular repeating unit of mitochondrial structure and function. *J Cell Biol* **22**, 63-100 (1963).
- [13] Horstman L.L., Racker E. Partial resolution of the enzyme catalyzing oxidative phosphorylation. XXII. Interaction between mitochondrial adenosine triphosphatase inhibitor and mitochondrial adenosine triphosphatase. *J Biol Chem* **245**, 1336-44 (1970).
- [14] Boldyrev A., A. Na⁺,K⁺-ATPase: 40 years of investigations. *Membr Cell Biol* **13**, 715-9 (2000).
- [15] Padrón, R. The contribution of Humberto Fernández-Morán to the electron microscopy. *Acta Microsc* **10**, 54-56 (2001).
- [16] Fernández-Morán, H. Low-temperature preparation techniques for electron microscopy of biological specimens based on rapid freezing with liquid Helium. *Ann NY Acad Sci* **85**, 689-713 (1960).
- [17] Mendoza F., Padrón, R. La revolución de la resolución: la criomicroscopía electrónica de partículas aisladas resuelve la estructura atómica de biomoléculas en solución. *Avan Química* **12**, 7-13 (2018).
- [18] Shen, P.S. The 2017 Nobel prize in chemistry: cryo-EM comes of age. *Anal Bioanal Chem* **410**, 2053-2057 (2018).
- [19] Esparza J., Padrón, R. La nominación de Humberto Fernández-Morán al Premio Nobel en Fisiología o Medicina en 1968. *Gac Med Caracas* **127**, 1-3 (2019).
- [20] Fernández-Morán H., Haftner, S., Ohtsuki, M., Virgo, D. High voltage electron microscopy and electron diffraction of pyroxenes in type B lunar samples from Apollo 11. *Science* **167**, 686-688 (1970).
- [21] Fernández-Morán, H. El valor de la investigación científica en nuestro medio. *Rev Nac Hosp* **7**, 54-55 (1956).

HERÓDOTO: HISTORIADOR, ETNÓGRAFO, GEÓGRAFO Y ¿GEÓLOGO? HERODOTUS: HISTORIAN, ETHNOGRAPHER, GEOGRAPHER, AND GEOLOGIST?

*Jhonny Edgar Casas*¹

RESUMEN

Heródoto nació en Halicarnaso (Anatolia) en fecha incierta, probablemente hacia el año 484 a. C., siendo el autor del primer texto histórico de considerable extensión. Los llamados «Libros de la Historia», son un relato de alta complejidad narrativa de las guerras greco-persas, dividido en varios volúmenes, y repleto de digresiones informativas que abarcan desde Egipto hasta Oriente Próximo. Heródoto no se basa para ello en textos escritos, o viejos archivos, sino que cuenta lo que ha visto y oído en sus largos viajes. No solo es el «padre de la historia», como lo definió Cicerón, sino también de la geografía, de la antropología cultural; y cuando indagamos más en sus textos, descubriremos con sorpresa que Heródoto aplicó razonamientos científicos y geológicos para explicar muchos fenómenos naturales. Heródoto supo en numerosas ocasiones hacer observaciones y conclusiones que aún hoy, casi 2500 años después, nos asombran por el carácter de deducción científica que aplica. Dentro de estas reflexiones, están las de carácter geológico que se rescatan en este trabajo, y que constituyen prueba fehaciente de que a Heródoto, además de sus dotes de historiador, etnógrafo y geógrafo, también se le pueden endilgar dotes de geólogo.

ABSTRACT

Herodotus was born in Halicarnassus (Anatolia), at an uncertain date, probably around 484 BC, and is the author of the first historical text of considerable length. The so-called *Books of History* are a multi-volume account of the Greco-Persian Wars, replete with informative digressions that range from Egypt to the Near East. Herodotus does not rely on written texts or ancient archives, but recounts what he has seen and heard on his extensive travels. He is not only the “father of history,” as Cicero defined him, but also of geography and cultural anthropology. And when we delve deeper into his texts, we discover with surprise that Herodotus applied scientific and geological reasoning to explain many natural phenomena. On numerous occasions, Herodotus made observations and draw conclusions that, even today, almost 2,500 years later, amaze us with the nature of scientific deduction he applied. Among his reflections are those of a geological nature, which this work recovers. They constitute a convincing proof that Herodotus, in addition to his gifts as a historian, ethnographer, and geographer, can also be credited with gifts as a geologist.

Palabras clave: Heródoto, Grecia, Egipto, Historia, Geografía, Etnografía, Geología.

Keywords: Herodotus, Greece, Egypt, History, Geography, Ethnography, Geology.

1. Introducción

La historia, como conjunto de sucesos, es inherente al tiempo, es simplemente el resultado del transcurrir del mismo, así como de los hechos y acciones de quienes han vivido. Sin embargo, para muchos estudiosos en el mundo occidental, su estudio sistemático tiene un punto de partida reconocido en Heródoto de Halicarnaso, considerado por muchos el precursor de la historiografía occidental.

Llamado «el padre de la historia» por el estadista romano Marco Tulio Cicerón¹ (106-43 a. C.), Heródoto es el autor del primer texto histórico de considerable extensión. Las llama-

das *Historias* son un relato en varios volúmenes de las guerras greco-persas, repleto de digresiones informativas que abarcan desde Egipto hasta Oriente Próximo. Heródoto también nos legó la palabra «historia», que significaba investigación o «conocimiento adquirido por investigación» en el griego original. Hasta el día de hoy, Heródoto se cita a menudo por los eruditos como fuente primaria de información sobre las regiones y civilizaciones de su tiempo.

Heródoto nació en Halicarnaso (actualmente Bodrum, pequeña ciudad turca de Asia Menor), en fecha incierta, probablemente hacia el año 484 a. C. La colonia dórica de Halicarnaso se hallaba por aquel entonces bajo dominio persa

1 M.Sc. en Geología, McMaster University, Canadá. Escuela de Geología, Minas y Geofísica; y Escuela de Petróleo, Universidad Central de Venezuela (UCV). Correo-e: jcasas@geologist.com

y era gobernada por un tirano llamado Ligdamis de Naxos. Los progenitores de Heródoto eran, por consiguiente, súbditos del Imperio persa, aunque seguramente por sus venas corría sangre griega, y de hecho es probable que la familia perteneciese a la aristocracia de Halicarnaso [1]. Luego de ser desterrado de Halicarnaso, Heródoto pasó largo tiempo en la isla de Samos, dedicándose luego a viajar. Fue en la región de Jonia, ubicada en la costa centro-occidental de Anatolia, hoy Turquía, donde surgieron los primeros filósofos, en ciudades como Mileto o Éfeso, importantes urbes comerciales, cercanas al mar, que vivían siempre bajo la amenaza del vecino Imperio Persa. Allí Heródoto forjó su carácter y su espíritu aventurero, mostrando siempre una curiosidad inagotable, y una actitud siempre tolerante; tomando notas de lo que veía y también de lo que le contaban, tal y como un moderno reportero [2].

Es casi seguro que en el 454 a. C., Heródoto regresará a Halicarnaso para participar en la revuelta que derrocó a Ligdamis de Naxos, representante de la tiranía caria que dominaba en aquella época la vida política de la colonia. La siguiente fecha importante en la biografía de Heródoto es la de la fundación de la colonia de Turios² en el 444 a. C., una ciudad de la Magna Grecia situada en el golfo de Tarento, en Italia. Se cree que Heródoto formó parte de esta primera expedición fundadora, dirigida por Pericles³ (495-429 a. C.), famoso general griego, durante la «Era Dorada de Atenas».

Su permanencia en la Atenas del tiempo de Pericles, le permitió vivir el gran momento político y cultural que atravesaba la ciudad. Heródoto (**Figura 1**), pudo conocer a Sófocles (496-406 a. C.), el gran poeta trágico que tanto influiría en su obra histórica, y a Protágoras (480-410 a. C.), el principal filósofo de la revolución sofística. Consiguió gran renombre durante su estancia en Atenas, y hacia el 445 a. C. fue invitado a leer con gran éxito algunos capítulos de su obra, recibiendo un premio importante en monedas por ello, un pago a sus elogios de la heroica lucha de los griegos, sobre todo de los atenienses, en defensa de la libertad [3]. Durante su estancia en Grecia, recitó por primera vez sus escritos compuestos en la Caria, durante el curso de los solemnes juegos olímpicos de la Olimpiada número 81. También en Atenas recitó por segunda vez su historia, en presencia de un numeroso pueblo reunido para los juegos Panatenaicos⁴, durante el tercer año de la Olimpiada número 83⁵ [4]. También en la época previa a la fundación de Turios², Heródoto hizo algunos de los viajes de los que nos habla en su obra. Se conoce que estuvo un largo tiempo en Egipto, probablemente después del 460 a. C., y que después, viajó a Fenicia, Mesopotamia y al país de los escitas⁶ [1].

Pasados sus 40 años de vida, se dispone de poca información sobre Heródoto. Según sus obras, parece haber realizado solo unos pocos viajes adicionales: uno a Crotona, y a Metaponto (ambas en el golfo de Tarento, Italia) y otro nuevamente a

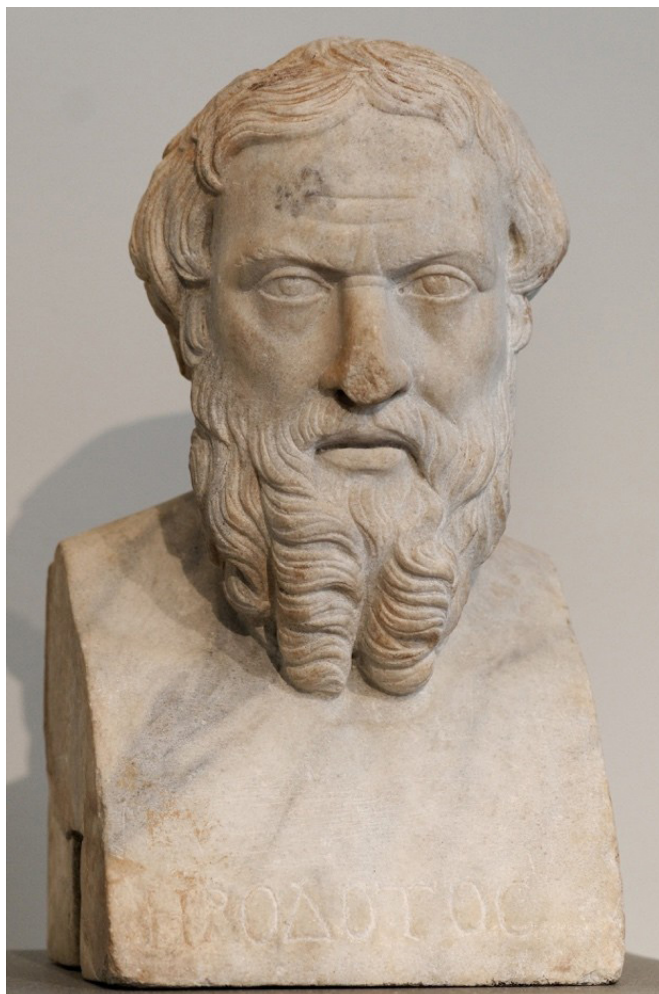


Figura 1. Busto romano de Heródoto de Halicarnaso; siglo II a. C. Copia de una estatua griega en bronce, de la primera mitad del siglo IV a. C. Fuente: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cropped-removebg-herodotus-historian.png>

Atenas alrededor del 430 a. C. Dado que el autor prometió hacer ciertos cambios y retoques a su obra, que quedaron inconclusos, se supone que murió alrededor de los 60 años, en el 425 a. C. Fuentes antiguas relatan que murió en Turios, donde su tumba se conoció durante muchos años [3].

2. Heródoto y su obra *Los nueve libros de la historia*

Todos estos viajes estuvieron inspirados por el deseo de aumentar sus conocimientos y de saciar sus ansias de saber, motores constantes del pensamiento de Heródoto. Este aparece a través de su obra como un hombre curioso, observador y siempre dispuesto a escuchar, cualidades que combinaba con una gran formación enciclopédica y erudita. Sus peregrinaciones continuarían después de establecerse en Turios², donde residió al menos unos cuantos años hasta su muerte, aunque realmente poco se conoce acerca de esta última etapa de su vida. *Historias* de Heródoto, una obra considerada la base de la historiografía, se piensa que se escribieron entre el 430 y el 425 a. C. [3].

La obra por la que Heródoto de Halicarnaso mereció el sobrenombre, como ya se mencionó, de padre o precursor de la historia, corresponde a una división en nueve libros o tratados, uno por cada musa de la mitología griega: Clío, Euterpe, Talía, Melpómene, Terpsícore, Erato, Polimnia, Urania y Calíope. Esta configuración de nueve libros y su título *Los nueve libros de la historia* (también llamados *Historias*), no son originales de Heródoto, sino que proceden de la recopilación efectuada en el siglo II a. C. (**Figura 2**), por Aristarco de Samotracia⁷, director de la Biblioteca de Alejandría, donde los cinco primeros libros describen los aspectos de fondo de las guerras médicas⁸. Para referirnos a los textos traducidos al español de los *Nueve libros de la historia*, como se les sigue conociendo hoy día, se usaron las versiones publicadas del Padre Bartolomé Pou [4] y de E. Rosby [5]. Para acotar el libro y la sección de donde se toma cada texto que se mencione a continuación, se usará una nomenclatura codificada, por ejemplo: Libro 2 - Sección VII.

En el primer libro de su historia, Heródoto trata acerca del reino de Lidia, del fastuoso rey Creso⁹ y sus enormes riquezas, así como de la conquista de este territorio por el rey persa Ciro El Grande¹⁰. En el segundo libro nos habla de Egipto y sus maravillas. El tercero comienza con la conquista del país del Nilo por el persa Cambises¹¹ y vuelve a las historias de Persia [6]. El cuarto libro abarca dos temas: uno sobre Escitia (región situada en Asia Central) y otro sobre Libia.

Los siguientes libros de Heródoto, relatan el conflicto bélico entre griegos y persas (**Figura 3**), episodio tras episodio. En el quinto, enfoca específicamente las intrigas de los persas en



Figura 3. Un guerrero hoplita griego (derecha) vence a un soldado persa en esta decoración alegórica de una cerámica del siglo V a. C., Museo Nacional de Escocia. Fuente: http://300spartanwarriors.blogspot.com/2016/02/classical-greece-and-ancient-greek_10.html

Macedonia y los conflictos de las ciudades griegas, con noticias sobre las políticas de Esparta y Atenas. Los siguientes libros cuentan las dos guerras médicas (492-449 a. C.), y contienen la historia del desarrollo de dichas guerras, evocando la victoria griega en Maratón¹², así como el dramatismo de la batalla decisiva de las Termopilas¹³, con el relato de la segunda invasión persa de Grecia por el rey Jerjes¹⁴ o Xerxes (480-479 a. C.). En el libro octavo describe la gran victoria griega de Salamina (480 a. C.), y en el noveno las batallas de Platea y Mícala (ambas en el 479 a. C.), que sellarían la victoria final de los griegos.

Las guerras médicas y sus preliminares son el tema de esta primera gran historia narrativa de la antigüedad, donde hace una mezcla diversa de narraciones. Para reunir las, Heródoto recurrió a sus notas y memorias de los numerosos viajes efectuados a lo largo del mundo conocido en esa época. De ellos extrajo sus fuentes de información y sus datos. Unas veces, Heródoto recoge lo que ha visto con sus propios ojos; otras, lo que le han contado; otras muchas, el resultado de sus indagaciones tras contrastar las tradiciones orales recibidas en sus encuentros con los sacerdotes y estudiosos de los lugares por él visitados, con la evidencia arqueológica y monumentos. Así, por ejemplo, su investigación sobre el mito de Hércules¹⁵ le llevó hasta Egipto, visitando Heliópolis, Menfis y Tebas; e incluso hasta Tiro, en Fenicia, donde Heródoto va entrelazando elementos distintos entre sí, aun cuando en ocasiones, según su opinión, no sean fiables: *Por lo que a mí toca, miro como un deber de referir lo que se dice, pero no de creerlo todo* (Libro 7 - Sección CLII).

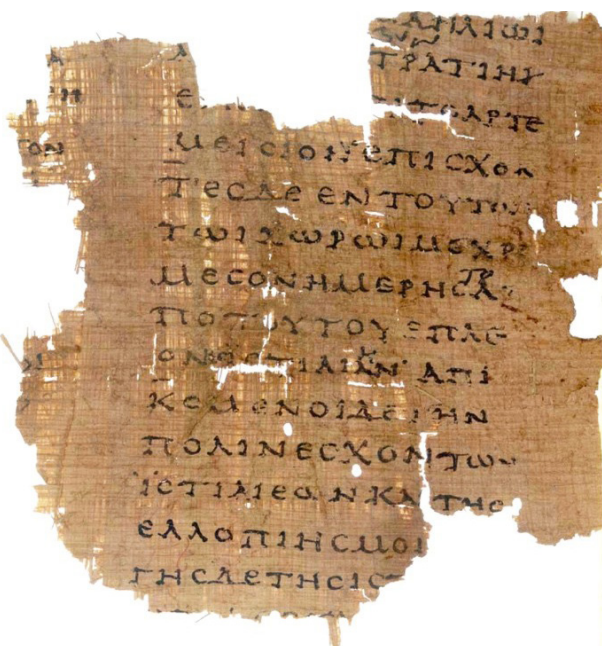


Figura 2. Fragmento del Libro VIII de la Historia de Heródoto en el Papiro Oxyrhynchus 2099, fechado a principios del siglo II d. C. Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:POxy_v0017_n2099_a_01_hires.jpg

3. La geografía de Heródoto

Los primeros libros de su *Historia*, atestiguan la faceta de viajero excepcional que caracterizó a Heródoto. Sin que esté clara su cronología, ni los lugares en los que estuvo, se estima que Heródoto hizo la mayoría de sus viajes del 464 al 447 a. C., entre sus 20 y 37 años de edad [3], recorriendo Asia, Siria, Fenicia; y algunas expresiones suyas dan a entender que visitó Babilonia, tal vez llegando hasta Susa y Elam, en el actual Irán. En África, visitó Egipto, recorriendo el valle de Nilo hasta la primera catarata en Elefantina (Asuán), donde acababa el Egipto antiguo. Recorrió también el norte de África, pasando por la Cirenaica y la costa de la actual Libia. Hacia el norte, viajó por el continente griego, por el Epiro, donde visitó el famoso Oráculo de Delfos (Figura 4), del cual comenta profusamente en el Libro I (Clío), Macedonia, Tracia, Esparta y la Escitia. Visitó las colonias griegas a orillas del mar Negro, y más allá en la región de Colchis (actual Georgia), se internó en las praderas pobladas por los errantes escitas, en la estepa ucraniana, hasta llegar posiblemente cerca de la actual *Kyiv* (Kiev). Finalmente, visitó la Magna Grecia y numerosas islas del mar Egeo. En la Magna Grecia, las crónicas de los viajes de Heródoto transcurren por las antiguas ciudades de Mileto, Priene, Samos, Éfeso, Afrodisias, Hierápolis, Sardes, Esmirna, Focea, Pérgamo, Assos, Creta, Chipre, Rodas, Troya y Bizancio [3, 6].

Heródoto reúne noticias variadas de sus viajes y experiencias. No se basa para ello en textos escritos, no usa viejos archivos, sino que cuenta lo visto y oído en sus largos viajes y, ya en la segunda parte, describe y comenta, como nadie antes, la guerra que decidió la libertad de Grecia, con especial referencia a la democrática Atenas. No solo es el «padre de la historia», como lo definió Cicerón, sino también de la geogra-



Figura 4. Al fondo, ruinas del famoso Oráculo de Delfos, ubicado en el santuario de Apolo, en las laderas del monte Parnaso, Grecia. Foto con el autor.



Figura 5. Reconstrucción del mapa de la ecúmene de Heródoto, circa 450 a. C. Fuente: <https://personajeshistoricos.com/c-filosofos/herodoto/>

fía, de la antropología cultural; y cuando indagamos más en sus textos, descubriremos con sorpresa que Heródoto aplicó razonamientos científicos y geológicos para explicar muchos fenómenos naturales.

Desde el punto de vista geográfico, Heródoto dejó constancia de una ecúmene¹⁶, donde el conjunto del mundo conocido en su época, se extendía desde Sudán a la Europa central y desde la India, en su límite oriental, hasta Iberia en el occidente (Figura 5). Durante el siglo VI a. C. el férreo control de los cartagineses sobre las rutas comerciales del Mediterráneo occidental y el estrecho de Gibraltar, limitó su conocimiento directo de esta región y de las costas atlánticas europeas, obligándolo a depender de fuentes secundarias para sus observaciones.

Algunos de los lugares más emblemáticos visitados por Heródoto fueron:

3.1 Babilonia

Heródoto dedicó buena parte de su obra a hablar del Imperio persa, de sus gobernantes y costumbres, y de las guerras que lo enfrentaron con los griegos. Nos habla de cómo Ciro el Grande¹⁰ toma la ciudad de Babilonia: *mandando demoler todos sus muros y arrancar todas las puertas de la ciudad* (Libro 3 - Sección CLIX). En la antigua Mesopotamia, las puertas de muchas ciudades y palacios eran guardadas por toros alados (Figura 6), conocidos como *lamassu* o *shedu*, siendo criaturas mitológicas híbridas con cuerpo de toro, cabeza de hombre y alas de águila, que se creían guardianes protectores.

3.2 Éfeso

Heródoto narra en su libro primero que el rey Cresos de Lidia sitió la ciudad de Éfeso (Figura 7), durante su conquista de Asia Menor, y sus habitantes dirigieron sus oraciones a la diosa Diana mientras unían el templo y las murallas de la ciudad con una soga. Describe a Cresos como el rey de los lidios y de otras naciones, así como el primero entre los bárbaros que



Figura 6. Toros alados o Lamassu, tallados en un solo bloque que mide 4 metros de alto y ancho, procedente del palacio del rey Sargón II, cerca de la ciudad de Nínive. Museo del Louvre, París. Foto del autor.



Figura 7. Ruinas arqueológicas de la ciudad de Éfeso, Turquía. Foto del autor.

conquistó algunos pueblos griegos de la región que hoy conocemos como Anatolia. Haciendo referencia a los templos griegos existentes, menciona a los más grandiosos por él visitados son los de Éfeso y Samos. En sus acostumbradas mediciones para dar al lector idea de distancias, Heródoto calcula que de Éfeso hasta Susa (antigua ciudad del primer imperio persa) había catorce mil cuarenta estadios¹⁷ (Libro 5 - Sección LIV),

equivalentes a unos 2568 kilómetros (hoy día por carretera, *Google Maps* indica 2642 kilómetros).

3.3 La Gran Pirámide de Guiza (Giza)

Heródoto visitó Egipto, probablemente entre el 457 y 456 a. C. [3], durante el tiempo del primer período de dominación persa, bajo el mandato de Artajerjes I (465-424 a. C.). Después de describir la geografía de Egipto y el cauce del Nilo, Heródoto se ocupa de mencionar al faraón Keops¹⁸, el constructor de la Gran Pirámide de Guiza (**Figura 8**), quien habría sido un déspota durante sus cincuenta años de reinado, obligando a su pueblo a trabajar en las canteras y a transportar bloques de piedra, por tierra y con barcasas en el Nilo. Según las fuentes de Heródoto, cien mil hombres trabajaron continuamente construyendo las pirámides y se relevaban cada tres meses. Solamente construir el canal que del Nilo llegaba hasta las pirámides tomó diez años de esfuerzo continuo. Agrega Heródoto: *En cuanto a la pirámide, se gastaron en su construcción 20 años: es una fábrica cuadrada de ocho pletros¹⁹ de largo en cada uno de sus lados, y otros tantos de altura, de piedra labrada y ajustada perfectamente, y construida de piezas tan grandes, que ninguna baja de 30 pies* (Libro 2 – Sección CXXIV).

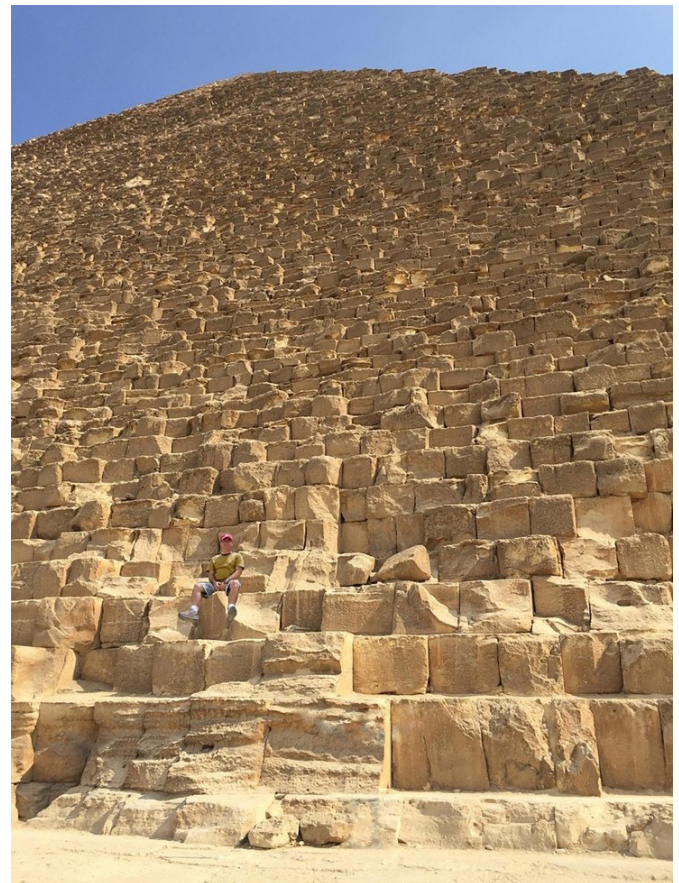


Figura 8. Vista de la Gran Pirámide de Keops. Foto con el autor de escala sentado en la cuarta fila de bloques.

Nadie sabe, hoy día, con exactitud, cómo se construyeron las grandes pirámides de Guiza, una de las siete maravillas de la antigüedad, pero Heródoto nos relata con mucha convicción, que se hizo avanzando por niveles. Una vez terminado cada nivel, se levantaban los bloques al siguiente usando máquinas de maderos cortos, que eran móviles e iban pasando de nivel a nivel [2]. Heródoto tuvo la oportunidad de ver la Gran Pirámide con su exterior liso pulido cuando comenta: *Así es que la fachada empezó a pulirse por arriba, bajando después consecutivamente, de modo que la parte inferior, que estribaba en el mismo suelo, fue la postrera en recibir la última mano.* Como curiosidad también nos narra: *En la pirámide está notado con letras egipcias, cuánto se gastó en rábanos, en cebollas y en ajos para el consumo de peones y oficiales; y me acuerdo muy bien que al lérmelo el intérprete me dijo que la cuenta ascendía a 4600 talentos de plata*²⁰ (Libro 2 – Sección CXXV).

4. El Nilo y su relación geográfica e histórica con los egipcios – Las observaciones de carácter geológico

Para cualquier lector del Libro 2 (Euterpe) de Heródoto, es una sorpresa encontrar algunas observaciones de carácter geológico, así como argumentos que son mucho más perspicaces y modernos de los esperados en un libro de casi dos mil quinientos años de antigüedad. Estos argumentos y observaciones acerca del río Nilo (**Figura 9**), y de cómo se formó su delta, son parte de lo que se analizará en los párrafos a continuación.

Libro 2 - Sección IV: *Explicábase, pues, con mucha uniformidad aquellos sacerdotes [...] Que Menes²¹ fue el primer hombre que reinó en Egipto; aunque el Egipto todo fuera del Nomo²² tebano, era por aquellos tiempos un puro cenagal, de suerte que nada parecía entonces de cuanto terreno al presente se descubre más abajo del lago Meris²³, distante del mar siete días de navegación, subiendo el río. Libro 2 - Sección V [...]*



Figura 9. Vista del río Nilo, cercano a la primera catarata en la isla Elefantina (Asuán), el lugar más al sur visitado por Heródoto. Foto del autor.

siendo así que salta a los ojos de cualquier atento observador, aunque jamás lo haya oído de antemano que el Egipto es una especie de terreno postizo, y como un regalo del río mismo, no solo en aquella playa a donde arriban las naves griegas, sino aun en toda aquella región que en tres días de navegación se recorre más arriba de la laguna Meris [...] Otra prueba hay de lo que voy diciendo, tomada de la condición misma del terreno de Egipto, pues si navegando uno hacia él echare la sonda a un día de distancia de sus riberas, la sacará llena de lodo de un fondo de once orgias²⁴. Tan claro se deja ver que hasta allí llega el sedimento que el río va depositando.

Comienza la sección IV mencionando que los sacerdotes egipcios le explicaron a Heródoto que en los tiempos del primer faraón Menes²¹, la región egipcia al norte de Tebas era un pantano, en nada parecido a los tiempos de Heródoto, dando a entender que los terrenos observados son relativamente recientes y que Egipto en sí mismo, es un regalo producto de la sedimentación del río Nilo. No únicamente la costa deltaica en sí, sino toda la región que abarcaba hasta tres días navegando río arriba desde el lago Meris²³. En los párrafos anteriores, también Heródoto deja claro que entiende que los sedimentos arrastrados por el río Nilo no solo se depositan en el delta, y pueden ser hallados a una buena distancia adentrándose en el mar Mediterráneo. Menciona que al acercarse los barcos a la costa y arrojar una sonda a unos 20 metros de profundidad, se encontrará lodo o arcillas depositadas por el río Nilo, quedando como curiosidad si el mismo habría hecho la prueba.

Libro 2 - Sección X: *La mayor parte de dicho país, según decían los sacerdotes, y según también me parecía, es una tierra recogida y añadida lentamente al antiguo Egipto. Al contemplar aquel valle estrecho entre los dos montes que dominan la ciudad de Menfis, se me figuraba que habría sido en algún tiempo un golfo de mar, como lo fue la comarca de Ilión, la de Teutrania, la de Éfeso y la llanura del Meandro, si no desdice la comparación de tan pequeños efectos con aquel tan admirable y gigantesco. Porque ninguno de los ríos que con sus sedimentos llegaron a cegar los referidos contornos es tal y tan grande, que se pueda igualar con una sola boca de las cinco por las que el Nilo se derrama. Verdad es que no faltan algunos que sin tener la cuantía y opulencia del Nilo, han obrado, no obstante, en este género grandiosos efectos, muchos de los cuales pudiera aquí nombrar, sin conceder el último lugar al río Aqueloo, que corriendo por Acarnia y desaguando en sus costas, ha llegado ya a convertir en tierra firme la mitad de las islas Equinadas.*

Heródoto comienza aseverando de nuevo su observación de que Egipto es una tierra añadida lentamente por la acción del río Nilo, y en su razonamiento imagina que la región alrededor de la ciudad de Menfis fue en algún momento parte del mar Mediterráneo. Para ello utiliza analogías con regiones conocidas por él en otros planos aluviales/deltaicos tanto en

Grecia (Ilion) como en la costa oeste de Anatolia en lo que hoy es Turquía (Teutrania, Éfeso), así como la mención de la llanura donde el río Meandro desarrolla sus meandros²⁵, reconociendo que ninguno puede compararse con el tamaño y volumen del Nilo. Luego menciona que los efectos importantes de la sedimentación de los ríos pueden ser observados independientemente de la magnitud del río, y aquí, para reforzar su teoría, y quizás, para citar un ejemplo más cercano a su público griego continental, también proporciona un ejemplo contemporáneo del río Aqueloo²⁶, el cual debido a su rápida progradación sobre la costa hizo que algunas de las cercanas islas Equinadas²⁷ se convirtieran en parte del continente.

Libro 2 - Sección XI: *En la región de Arabia, no lejos de Egipto, existe un golfo larguísimo y estrecho, el cual se mete tierra adentro desde el mar del Sud, o Eritreo; golfo tan largo que, saliendo de su fondo y navegándole a remo, no se llegará a lo dilatado del Océano hasta cuarenta días de navegación y tan estrecho, por otra parte, que hay paraje en que se le atraviesa en medio día de una a otra orilla; y siendo tal, no por eso falta en él cada día su flujo y reflujo concertado. Un golfo semejante a éste imagino debió ser el Egipto que desde el mar Mediterráneo se internara hacia la Etiopía, como penetra desde el mar del Sud hacia la Siria aquel golfo arábigo [...] Y si el Nilo quería torcer su curso hacia el golfo Arábigo, ¿quién impidiera, pregunto, que dentro del término de veinte mil años a lo menos, no quedase cegado el golfo con sus avenidas? Mi idea por cierto es que en los últimos diez mil años que precedieron a mi venida al mundo, con el sedimento del río debió quedar cubierta y cegada una parte del mar.*

El golfo marino que Heródoto describe detalladamente en su texto, es el actual golfo de Suez, ubicado entre Egipto y la península del Sinaí. Heródoto imagina un golfo de longitud similar existente entre el mar Mediterráneo y la región que ocupa Egipto. Propone además imaginar que, si el río Nilo torciera su curso para desembocar en el golfo de Suez, en el término de 20 000 años, dicho golfo quedaría anegado de sedimentos. Supone Heródoto que 10 000 años antes de su nacimiento, un gran y poderoso río como el Nilo pudo haber llenado de sedimentos esa área que antes ocupaba el Mediterráneo. Basándose en su analogía hipotética, concluye, casi triunfalmente, que dado todo el tiempo transcurrido hasta su época, es posible que el Nilo hubiera sedimentado un golfo incluso más grande que el golfo de Suez. El enorme mérito de este pensamiento de Heródoto se basa en su concepto de cambios geomorfológicos importantes a lo largo de periodos de miles de años [7]. Este pensamiento se perdió completamente con el devenir de las centurias y se reemplazó con el concepto bíblico de un mundo estático y no más antiguo de unos 6000 años²⁸.

Libro 2 - Sección XII: *En conclusión, yo tengo por cierta esta lenta y extraña formación del Egipto, no sólo por el dicho de sus*

sacerdotes, sino porque vi y observe que este país se avanza en el mar más que los otros con que confina, que sobre sus montes se dejan ver conchas y mariscos, que el salitre revienta de tal modo sobre la superficie de la tierra, que hasta las pirámides va consumiendo, y que el monte que domina a Menfis es el único en Egipto que se vea cubierto de arena. Añádase a lo dicho que no es aquel terreno parecido ni al de la Arabia comarcana, ni al de la Libia, ni al de los Sirios, que son los que ocupan las costas del mar Arábigo; pues no se ve en él sino una tierra negruzca y hendida en grietas, como que no es más que un cenagal y mero sedimento que, traído de la Etiopía, ha ido el río depositando, al paso que la tierra de Libia es algo roja y arenisca, y la de la Arabia y la de Siria es harto gredosa y bastante petrificada.

Nuevamente, Heródoto concluye, basado tanto en sus propias observaciones como en lo dicho a él por los sacerdotes egipcios, que donde hoy hay tierra, antes era un mar, y que el proceso no se detiene, y continúa avanzando (progradando) sobre la costa del Mediterráneo. Heródoto se apoya además en el hecho de haber observado en las montañas cercanas, restos fósiles de conchas marinas que para él son la prueba de que antes, en el área que ocupa el valle del Nilo, existían condiciones marinas. Además, invoca la presencia de incrustaciones de sal en la superficie como prueba de la antigua existencia de aguas marinas [7]. Perspicaz es también la observación que sigue a continuación, donde Heródoto compara los diferentes terrenos que rodean al valle del Nilo, y donde concluye que dichos sedimentos no se parecen en nada a los que se encuentran en Libia, rojos y arenosos; ni los de Arabia o Siria que son arenosos y compactos. Describe que los del Nilo son de color negruzco y se agrietan con facilidad, asociándolo a ciénagas aluviales, cuyo sedimento, dice claramente, se trajo desde Etiopía. Nótese que, en tiempos de Heródoto, Libia era la región ubicada al oeste del Nilo; Arabia, la del este, y Etiopía, la región del sur (**Figura 5**).

Libro 2 - Sección XIII: *Otra noticia me referían los sacerdotes, que es para mí gran conjetura en favor de lo que voy diciendo. Contaban que en el reinado de Moeris²⁹, con tal que creciese el río a la altura de ocho codos³⁰ bastaba ya para regar y cubrir aquella porción de Egipto que está más abajo de Menfis; siendo notable que entonces no habían transcurrido todavía novecientos años desde la muerte de Meris. Pero al presente ya no se inunda aquella comarca cuando no sube el río a la altura de dieciséis codos, o de quince por lo menos. Ahora bien; si va subiendo el terreno a proporción de lo pasado y creciendo más y más de cada día, los egipcios que viven más abajo de la laguna Meris, y los que moran en su llamado Delta, si el Nilo no inundase sus campos, en lo futuro, están a pique de experimentar en su país para siempre los efectos a que ellos decían, por burla, que los griegos estarían expuestos alguna vez. Sucedió, pues, que oyendo mis buenos egipcios en cierta ocasión que el país*

de los griegos se baña con agua del cielo, y que por ningún río como el suyo es inundado, respondieron el disparate, que si tal vez les salía mal la cuenta, mucho apetito tendrían los griegos y poco que comer. Y con esta burla significaban, que si Dios no concedía lluvias a estos pueblos en algún año de sequía que les enviara, perecerían de hambre sin remedio, no pudiendo obtener agua para el riego, sino de la lluvia que el cielo les dispensara.

En esta parte del texto, Heródoto también hace inferencias indirectas sobre las tasas de sedimentación o agradación del terreno, ya que en la época del rey Moeris²⁹ el río solo tenía que subir un mínimo de 3,6 metros para que la tierra al norte de Menfis se inundara. A partir de la información de los sacerdotes, Heródoto deduce que el rey Moeris llevaba cerca de 900 años de fallecido, y que, si el terreno ha seguido agradando en la misma proporción estable durante todo ese tiempo, su estimación, para el momento que describe, es que a menos que el río suba un mínimo de 7,2 metros, la región permanecerá sin inundaciones. Obviamente, no afirma explícitamente que la tasa de agradación sea calculable, pero es probable que tenga en mente una estimación aproximada basada en las cifras que tanto se ha esforzado en proporcionar. Esto implica que la sedimentación de los ríos, comúnmente observada, puede utilizarse de forma cuantificable, para hacer predicciones, así como para explicar el pasado. Se puede fácilmente estimar con los números dados por Heródoto, que la tasa de sedimentación era de 0,4 metros aproximadamente cada 100 años. Heródoto concluye de lo anterior que el terreno seguirá agradando por efecto de la sedimentación, causada por el desborde del Nilo, y predice cuidadosamente, marcándola como su propia inferencia, que llegará un momento en el que esto no ocurrirá más, y los egipcios de esa región no dispondrán de agua para el riego de los cultivos, con el consiguiente riesgo de hambruna, a menos que las lluvias los salven.

Libro 2 - Sección XV: *Si quisiera yo adoptar la opinión de los jonios³¹ acerca del Egipto, probaría aún que ni un palmo de tierra poseían los egipcios en la antigüedad. Reducen los jonios el Egipto propiamente dicho, al país del Delta, es decir, al país que se extiende a lo largo del mar por el espacio de cuarenta es-
quenos³² desde la atalaya llamada de Perseo hasta el lugar de las Taricheas Pelusianas y que penetra tierra adentro hasta la ciudad de Cercasoro, donde el Nilo se divide en dos brazos que corren divergentes hacia Pelusio y hacia Canopo; el resto de aquel reino pertenece, según ellos, parte a la Libia, parte a la Arabia. Y siendo el Delta, en su concepto como en el mío, un terreno nuevo y adquirido, que salió ayer de las aguas por decirlo así, ni a un lugar tendrían los primitivos egipcios para morir y vivir.*

Heródoto comenta que los jonios³¹ consideran que Egipto es únicamente el país del delta, y que el mismo es capaz de de-

mostrar, bajo este concepto, que los egipcios en la antigüedad no poseían tierras donde asentarse o donde vivir, por la sencilla razón de que este espacio era probablemente una antigua y extensa bahía marina que fue posteriormente rellenada por la sedimentación del río Nilo. Heródoto pareciera estar usando la geomorfología del territorio egipcio como medida de la cronología de toda la historia, y nos deja su propia reconstrucción imaginaria, aunque errónea, de un movimiento gradual del pueblo de Egipto hacia el norte a medida que crecía el territorio aluvial.

Libro 2 - Sección XIX: *No es sólo el Delta el que en sus avenidas inunda el Nilo, pues que de él nos toca hablar, sino también el país que reparten algunos entre la Libia y la Arabia ora más, ora menos, por el espacio de dos jornadas. De la naturaleza y propiedad de aquel río nada pude averiguar, ni de los sacerdotes, ni de nacido alguno, por más que me deshacía en preguntarles: ¿por qué el Nilo se desborda en el solsticio del verano? ¿por qué dura cien días en su inundación? ¿por qué menguado otra vez se retira al antiguo cauce, y mantiene baja su corriente por todo el invierno, hasta el solsticio del estío venidero? En vano procuré, pues, indagar por medio de los naturales la causa de propiedad tan admirable que tanto distingue a su Nilo de los demás ríos. Ni menos hubiera deseado también el descubrimiento de la razón por qué es el único aquel río que ningún soplo o vientecillo despide.*

En esta sección del Libro 2, Heródoto desata toda su curiosidad, haciéndose múltiples e interesantes preguntas acerca de la naturaleza y comportamiento del Nilo, pero sin encontrar respuestas entre los naturales del lugar. A continuación, Heródoto comienza a describir diversas hipótesis para explicar la naturaleza estacional del Nilo.

Libro 2 - Sección XIX. *No ignoro que algunos griegos, echándose de físicos insignes, discurrieron tres explicaciones de los fenómenos del Nilo; dos de las cuales creo más dignas de apuntarse que de ser explanadas y discutidas. El primero de estos sistemas atribuye la plenitud e inundaciones del río a los vientos Etésias³³, que cierran el paso a sus corrientes para que no desagüen en el mar. Falso es este supuesto, pues que el Nilo cumple muchas veces con su oficio sin aguardar a que soplen los Etésias. El mismo fenómeno debiera además suceder con otros ríos, cuyas aguas corren en oposición con el soplo de aquellos vientos, y en mayor grado aun, por ser más lánguidas sus corrientes como menores que las del Nilo. Muchos hay de estos ríos en la Siria; muchos en la Libia, y en ninguno sucede lo que en aquel.*

Heródoto comienza a desarrollar las hipótesis existentes acerca del Nilo, no sin antes mofarse de los eruditos griegos a los que llama físicos insignes. Primero nos detalla la hipótesis de que las inundaciones del Nilo se explican a través de

la corriente de los vientos etesios³³, pero inmediatamente la descarta, ya que observa que muchas veces el Nilo produce desbordamientos sin que esos vientos estén activos. Además, argumenta, que si los vientos etesios tuvieron tal efecto en el Nilo, deberían producir consecuencias idénticas en el caso de otros ríos en situaciones geográficas similares. Heródoto soporta su conclusión apoyándose en el hecho que en otros ríos que él alega conocer en Siria y en Libia, esto no sucede. La primera parte de la refutación de Heródoto señala una omisión en la lógica de la explicación; la segunda se basa en la idea de que las causas deberían tener los mismos efectos (o al menos parecidas) en circunstancias similares [7].

Libro 2 - Sección XXI. *La otra opinión, aunque más ridícula y extraña que la primera, presenta en sí un no sé qué de grande y maravilloso, pues supone que el Nilo procede del Océano, como razón de sus prodigios, y que el Océano gira fluyendo alrededor de la tierra.* **Libro 2 - Sección XXII.** *El que haga proceder aquel río del Océano, no puede por otra parte ser convencido de falsedad, cubierto con la sombra de la mitología. Protesto a lo menos que ningún río conozco con el nombre de Océano.* **Libro 2 - Sección XXIII.** *La tercera, finalmente, a primera vista la más probable, es de todas las explicaciones, la más desatinada; pues atribuir las avenidas del Nilo a la nieve derretida, son palabras que nada dicen. El río nace en la Libia, atraviesa el país de los etíopes, y va a difundirse por el Egipto; ¿cómo cabe, pues, que desde climas ardorosos, pasando a otros más templados, pueda nacer jamás de la nieve deshecha y liquidada? Un hombre hábil y capaz de observación profunda hallará motivos en abundancia que lo presenten como improbable el origen que se supone al río en la nieve derretida. El testimonio principal será el calor mismo de los vientos al soplar desde aquellas regiones; segunda, falta de lluvias o de nevadas, a las cuales siguen siempre aquellas con cinco días de intervalo; y por fin, el observar que los naturales son de color negro de puro tostados por el sol.*

En la sección XXI se mofa de la segunda explicación, la cual supone que el agua del río Nilo procede del mismo océano que rodea la ecúmene conocida, y atribuye su falsedad a creencias mitológicas. La tercera hipótesis, en la sección XXIII, comienza explicando que puede ser a primera vista la más probable, pero para él es, sin embargo, la más absurda, pues atribuye las crecidas del Nilo al derretimiento de las nieves en el nacimiento del río Nilo en Libia. Inmediatamente desmonta el argumento con una serie de preguntas, y luego afirmaciones, donde testimonia la falta de nevadas en las regiones ubicadas más al sur y que se caracterizan por climas calientes. A esto suma otra de sus recurrentes observaciones, pero ahora de carácter etnográfico, donde asevera que los naturales de la región donde nace el Nilo son de piel oscura, tostada por el sol, por que él asume que es impensable la existencia de nieve.

Luego de pasearnos por todas las hipótesis existentes, finalmente Heródoto nos hace saber su opinión y conclusión acerca del tema en la sección XXIV. Llegado este punto, es el momento de que Heródoto muestre su propio pensamiento sobre lo desconocido.

Libro 2 - Sección XXIV. *Mas si, desaprobando yo tales opiniones, se me preguntare al fin lo que siento en materia tan oscura, sin hacerme rogar daré la razón por la que entiendo que en verano baja lleno el Nilo hasta rebosar.* **Libro 2 - Sección XXV.** *Lo explicaremos más clara y difusamente. Al girar el sol sobre la Libia, cuyo cielo se ve en todo tiempo sereno y despejado, y cuyo clima sin soplo de viento refrigerante es siempre caluroso, obra en ella los mismos efectos que en verano, cuando camina por en medio del cielo. Entonces atrae el agua para sí; y atraída, la suspende en la región del aire superior, y suspensa la toman los vientos, y luego la disipan y esparcen; y prueba es el que de allá soplen los vientos entre todos más lluviosos, el Noto y el Sudoeste [...] El sol, en una palabra, es en mi concepto el autor de tales fenómenos.*

Heródoto descarta todas estas explicaciones por razones diversas y, en cierta medida, para la época, sensatas. Argumenta, aunque de forma algo complicada y engorrosa, que la temporalidad del Nilo podría deberse a las tormentas estacionales en el curso superior del río. La explicación de Heródoto es correcta, pues hoy sabemos que las inundaciones del Nilo se deben al monzón anual de mayo a agosto, que causa fuertes lluvias en las tierras altas de Etiopía (Libia en su texto).

Aunque Heródoto rechaza de forma bastante despectiva las explicaciones que le comunicaron los sacerdotes egipcios y los eruditos griegos (secciones XIX a la XXIII), podría afirmarse, sin embargo, que en su razonamiento emplea el análisis de múltiples hipótesis, metodología aplicada hoy en día en el denominado «Método Científico»³⁴. El método, también conocido como hipótesis de trabajo múltiples, fue desarrollado por el geólogo del siglo XIX Thomas Chamberlin (1843-1928) en 1890, e implica considerar varias explicaciones (hipótesis) potencialmente contradictorias, acerca de un fenómeno, antes de centrarse en una sola, lo que promueve una investigación más exhaustiva e imparcial. El método anima a los investigadores a desarrollar y considerar múltiples explicaciones plausibles para un fenómeno, incluso si parecen incoherentes o paradójicas. Este enfoque ayuda a evitar que los investigadores se apeguen demasiado a una sola hipótesis y pasen por alto otras explicaciones plausibles.

La complicada explicación dada por Heródoto es razonable para su época, considerando su modelo astronómico implícito, que asume una Tierra plana con la trayectoria del Sol sobre su superficie como un arco relativamente ajustado e inclinado hacia el sur. Lo que Heródoto parece decir, pero no lo hace

explícitamente, sino entre líneas, es que el sol es más fuerte y absorbe más humedad del curso superior del Nilo durante el invierno que durante el verano.

5. Otras observaciones de carácter geológico/geográfico hechas por Heródoto

Libro 2 - Sección LXXV. *Otra casta hay de sierpes aladas, sobre las cuales queriéndome informar hice mi viaje a un punto de la Arabia situado no lejos de Butona. Llegado allí (no se crea exageración), vi tal copia de huesos y de espinas de serpientes cual no alcanzo a ponderar. Veíanse allí vastos montones de osamentas, aquí otros no tan grandes, más allá otros menores, pero muchos y numerosos. Este sitio, osario de tantos esqueletos, es una especie de quebrada estrecha de los montes, y como un puerto que domina una gran llanura confinante con las campiñas del Egipto. Aquella carnicería se explica diciendo que al abrirse la primavera acuden las serpientes aladas desde la Arabia al Egipto, y que las aves que llaman ibis, les salen al encuentro desde luego a la entrada del país, negándoles el paso, y acaban con todas ellas. A este servicio que los ibis prestan a los egipcios, atribuyen los árabes la estima y veneración en que los tienen aquellos naturales, y esta es la razón que dan los egipcios mismos del honor que le tributan.*

Según Heródoto, también pudo ver en Egipto esqueletos de «serpientes aladas» que, según los lugareños, llegaban volando desde Arabia, donde las aves denominadas ibis, las interceptaban acabando con ellas. Evidentemente, Heródoto se refiere a fósiles que observó probablemente en quebradas estrechas entre las montañas. El lugar que describe, lleno de numerosos esqueletos, no se conoce con precisión, ya que alude la cercanía de Butona, la cual se desconoce hoy en día su posición geográfica. Existen muchas posibilidades para esta descripción de Heródoto, pero las que más se acercan a la cantidad de fósiles que describe, podrían estar ubicadas en el desierto occidental de Egipto, donde se han encontrado fósiles de dinosaurios, incluyendo esqueletos de un carnívoro gigante y una nueva especie, el *Mansourasaurus shahinae*, que vivió en el Cretácico.

También en el desierto occidental, especialmente en el área de Wadi Al-Hitan, conocida como el Valle de las Ballenas (Figura 10), se encuentran importantes restos fósiles de ballenas prehistóricas. Se han encontrado fósiles de géneros como *Basilosaurus* y *Dorudon*, dos cetáceos primitivos que habitaron la región entre 34 y 56 millones de años atrás, durante el Eoceno [8]. Igualmente, en el desierto occidental, cerca del oasis de Bahariya, fueron localizados entre 1910 y 1914 decenas de fósiles, entre ellos fragmentos de un dinosaurio que más adelante se conocerían como *Spinosaurus aegyptiacus*. El *Spinosaurus* vivió durante el período Cretácico, hace unos 95-100 millones de años, una época en la que varios grupos



Figura 10. Imagen de un esqueleto fósil en el «Valle de las Ballenas». Estos esqueletos se encuentran casi completos por toda la región de Wadi Al-Hitan en el desierto occidental, y los mismos pudieron dar origen al mito de las serpientes voladoras, ya que las aletas pudieron fácilmente ser confundidas con alas. Fuente: National Geographic. https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/valle-ballenas-tesoro-fosiles-pleno-desierto-egipto_17424

de reptiles habían evolucionado para vivir en entornos marinos y costeros. Igualmente, en la misma región del oasis de Bahariya, han sido hallados restos de un género gigante de dinosaurios denominado *Paralititan stromeri* [9].

Libro 7 (Polimnia) - Sección CXXIX. *Corre en efecto una tradición que en lo antiguo era la Tesalia toda una gran laguna cerrada por todas partes con unos muy elevados montes, porque por la parte que mira a Levante la ciñen dos montes, el Pelión y el Osa, cuyas raíces están entre sí pegadas; por la parte del Bóreas la rodea el Olimpo; por la de Poniente el Pindo, y por la de Mediodía y del Noto el Otris: lo que en medio resta circuido por dichos montes, era la Tesalia, comarca, de tierra baja. Concurren, pues, hacia ella, dejando aparte otros ríos, estos cinco muy célebres: el Peneo³⁵, el Apidaño, el Onocono, el Enipeo y el Pamiso, los cuales bajando de los mencionados montes que rodean de todas partes la Tesalia, y juntándose en aquella llanura, dirigen todos al cabo su curso hacia el mismo valle, y éste bien angosto confundiendo sus aguas en una corriente. Desde el lugar en que se juntan álzase el Peneo con el nombre de los demás, haciendo anónimos a los otros. Es fama, pues, que ya en los tiempos antiguos, no existiendo todavía aquel barranco, ni teniendo el agua salida por él, concurrían allá con sus aguas los mismos ríos que ahora, y a más de ellos la laguna Bebeida; de suerte que no teniendo dichos ríos los mismos nombres que al presente tienen, llevaban la misma agua y hacían con ella de la Tesalia toda una gran llanura de mar. Los tésalos mismos dicen que Neptuno fue quien abrió el canal por donde corre el Peneo; y razón tienen en lo que dicen, pues cualquiera que crea a Neptuno el dios de los terremotos, cuyas obras sean las aberturas que estos producen, no ha menester más que ver aquella quebrada, para decir que es cosa hecha*

por Neptuno, siendo a mi parecer efecto de algún terremoto, la separación de aquellos montes.

En el Libro 7 – secciones CXXVIII, CXXIX y CXXX, Heródoto nos habla de las montañas de Tesalia y del peculiar canal del río Peneo³⁵. Jerjes, se informó de que este canal era el único paso hacia la costa, así que consideró la posibilidad de bloquear dicho paso, esperando que los tesalios se rindieran ante esta amenaza. Durante la narración de este episodio, Heródoto se detiene a comentar acerca del origen de este extraño paso o canal en el medio de las montañas. Comenta que los nativos tesalios, afirman que el canal a través del cual fluye el Peneo, fue hecho por el dios Poseidón. Luego refiere que para cualquiera que sepa que Poseidón domina los terremotos y que el canal fue obra de un terremoto, es lógico deducir que Poseidón fue su creador, pero aquí continúa la reflexión más interesante de su texto, ya que finaliza diciendo *siendo a mi parecer efecto de algún terremoto, la separación de aquellos montes*. De forma sutil, Heródoto nos hace saber que su conclusión es que el canal del río Peneo fue producto de un terremoto, pero si alguien quiere creer que fue obra de Poseidón, era libre de hacerlo.

Geológicamente, durante la última parte del Cuaternario, la población griega de Tesalia vivió sin duda en un entorno de rápidos cambios y evolución geomorfológica. De hecho, ese fue el período durante el cual el valle de Piniada se rellenó definitivamente mediante un proceso de progradación-agradación fluvial, transformando la zona a condiciones predominantemente lacustres-pantanosas (laguna Bebeida en la narración de Heródoto). Estas condiciones ambientales y deposicionales persistieron hasta el Pleistoceno Tardío, cuando la actividad tectónica a lo largo de una importante falla denominada Larissa con orientación ONO/ESE (Figura 11), desvió el curso inferior del río hacia la llanura de Larissa, lo que provocó el abandono del valle de Piniada [10]. El ascenso del lago, debilitó mecánicamente las rocas carbonatadas superficiales a lo largo de la traza de la mencionada falla, hasta que ocurrió un cambio en el drenaje permanente hacia el este, en ángulo de casi 90° a través de dicha falla (Figura 11), cortando las montañas. Esta última etapa estuvo asociada a la formación del río Peneo (Pinios), que finalmente transportó las aguas lacustres de Tesalia occidental a la llanura de Larissa y, desde allí, al mar Egeo, formando el actual delta marino [10].

Libro 7 – Sección CCII. *Pero aquella boca del Araxes³⁶ que tiene limpia su corriente, va a desaguar en el río Caspio, que es un mar aparte y no se mezcla con ningún otro; siendo así que el mar en que navegan los griegos y el que está más allá de las columnas de Hércules y llaman Atlántico, como también el Eritreo, vienen todos a ser un mismo mar.*

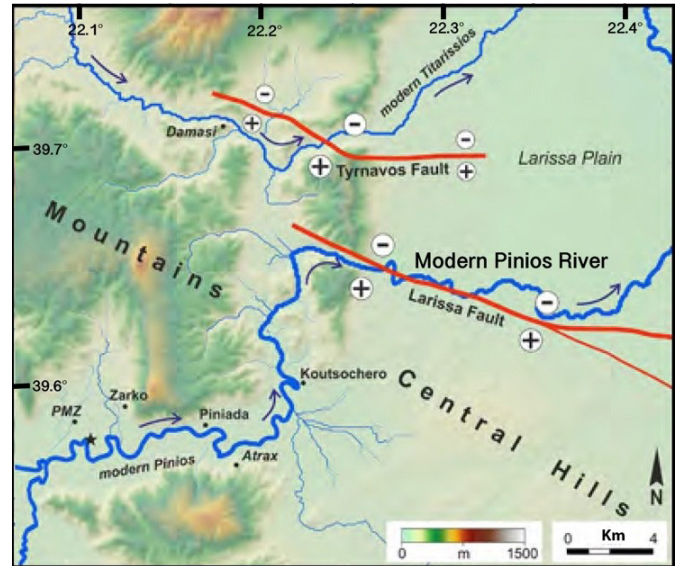


Figura 11. Mapa geomorfológico de la región de Tesalia en Grecia, descrita por Heródoto, que muestra el actual curso del río Peneo (Pinios o Peneus), y cómo el mismo, cambia violentamente su curso hacia el este, utilizando la traza de la falla denominada Larissa, indicada en la figura. Fuente: [10].

Heródoto hace gala de su conocimiento geográfico en este pasaje cuando asegura conocer la región del mar Caspio, aseverando además que no se conecta con el mar que navegan los griegos (Mediterráneo), sin embargo, este último a su vez se conecta con el Atlántico, con el golfo Pérsico y con el océano Índico (Eritreo), ya que todos son parte del mismo mar. Tanto en su tiempo, como en el de los geógrafos de la era alejandrina, se consideraba que el Caspio era un brazo del océano norte, por lo que es notable que Heródoto lo catalogara correctamente como un mar interior.

6. Conclusiones acerca de las observaciones geológicas de Heródoto en Egipto

Heródoto realizó algunas de las primeras observaciones geológicas de las que se tenga conocimiento, incluyendo la inferencia de que el mar Mediterráneo en la antigüedad, se extendía mucho más al sur de su posición, basando su conclusión en el hallazgo de conchas fósiles en el interior de Egipto y Libia, y en que la formación del terreno del valle del Nilo se produjo mediante procesos de sedimentación (progradación/agradación). A continuación, se presenta un resumen del análisis de las observaciones de carácter geológico descritas por él en sus libros:

6.1 Conchas fósiles y la extensión del mar Mediterráneo

Heródoto observó restos fósiles marinos (valvas) tierra adentro en lo que hoy forman parte de tierras de Egipto y Libia, llevándolo a concluir acertadamente que el mar Mediterráneo

se extendía más al sur en épocas remotas, de lo que ocupaba en su tiempo.

6.2 Hipótesis de formación de nuevas tierras

Basado en sus observaciones de fósiles localizados en capas de rocas en zonas de montañas, formula la hipótesis de que las nuevas tierras egipcias se formaron a partir de la erosión de las montañas y la depositación del limo mediante el río Nilo. Su argumento fue que los fósiles eran remanentes de organismos que vivieron en el mar y que estos terrenos posteriormente se volvieron tierras emergidas.

6.3 Observaciones del río Nilo

Heródoto fue un hábil observador, reconociendo que los suelos oscuros del bajo Egipto diferían de los suelos desérticos de Siria y Libia, e infiriendo correctamente que los de Egipto provenían de las regiones aguas arriba del Nilo, en Etiopía.

Heródoto enfatizó que *Egipto es una especie de terreno positivo, y como un regalo del río mismo*, (Libro 2 – Sección V), repitiendo varias veces que el limo y arcillas transportados por el Nilo, habían dado lugar a la región deltaica, donde florecía la cultura egipcia.

6.4 Otras observaciones geológicas

Heródoto describe haber observado huesos y espinas en Egipto. Diversas regiones del occidente de Egipto presentan zonas con gran cantidad de esqueletos fósiles de diferentes tipos de criaturas, tanto del Cretácico como del Paleógeno. Su referencia a serpientes aladas, como las denominaban los sacerdotes egipcios, posiblemente tiene que ver con restos de cetáceos comunes en dicha región, cuyos cuerpos alargados exhiben aletas que cualquier mortal pudiera interpretar como alas.

Una anécdota interesante de mencionar se refiere a su descripción de que muchos bloques con los que se construyeron las pirámides, estaban compuestos de pequeños granos como lentejas. Heródoto atribuye esto a que las lentejas probablemente eran escupidas por los obreros al comer, y las mismas se convirtieron posteriormente en roca. Estos granos, incorrectamente identificados como lentejas, no son más que foraminíferos fósiles, en su mayoría *Nummulites* del Eoceno, que componen las rocas carbonáticas de la Formación Mokattam, usadas como material primario para la construcción de las pirámides [11].

6.5 Explicaciones naturales y no intervenciones divinas

Heródoto atribuyó las inundaciones del Nilo al movimiento anual del sol, controlando la humedad y las tormentas en su cabecera, y no a la intervención divina de los dioses egipcios.

Heródoto no menciona en su obra principal la leyenda del diluvio de Deucalión³⁷, la versión griega equivalente al Diluvio

Universal narrado en el libro del Génesis [12], sin embargo, sí se interesó por las explicaciones de ciertos eventos catastróficos, como la noción de que la tierra había sido inundada en algún momento de la antigüedad. Esta idea la basó en la presencia de fósiles marinos en zonas continentales, que para él eran evidencias de inundaciones antiguas.

Aunque no corresponde a Egipto, el caso de la garganta por donde discurre el río Peneo, desde su nacimiento en el Monte Peneus, Grecia, es un ejemplo digno de mencionar, ya que Heródoto asevera que dicha garganta es el producto de un terremoto, más que de la intervención del dios Neptuno, como afirmaba la tradición del lugar. Hoy día sabemos que la garganta mencionada por Heródoto, y por donde discurre el río hacia el este, es producto de una importante falla tectónica.

6.6 Uniformitarismo

Las observaciones de Heródoto en cuanto al funcionamiento de los ríos, se alinean con el principio del Uniformitarismo³⁸. A pesar de su limitado conocimiento de los fenómenos geológicos, sus conclusiones acerca del pasado se basan en observaciones presentes. Desafortunadamente, Heródoto no separó sus observaciones y conclusiones geológicas del resto del texto, y por esta razón, no sentó implícitamente las bases fundacionales de los estudios geológicos. Todo esto tuvo que ser redescubierto por unos pocos investigadores siglos después, entre los que destaca la publicación de Harrington [13].

7. Heródoto más allá del tiempo

Los romanos rindieron pleitesía a la figura de Heródoto, ya que fue Cicerón quien lo llamó el «padre de la historia». Muchos historiadores romanos se sirvieron de él como fuente de información a lo largo de los siglos, y abundan las citas y referencias sacadas de las Historias. Con la llegada del helenismo, la obra de Heródoto adquirió una mayor relevancia gracias al carácter un tanto novelesco de algunos relatos, algo aparentemente muy de moda en esa época.

Durante la Edad Media, período en que la lengua griega se convirtió en un verdadero arcano, Heródoto dejó de leerse, aunque gracias a los historiadores latinos, se difundieron algunas de sus anécdotas insertas en sus relatos. Su estrella volvió a brillar gracias a los logros del humanismo³⁹, donde la traducción latina más antigua que se conserva de la obra de Heródoto, fue escrita por Lorenzo Valla⁴⁰ (1406-1457), e impresa en Venecia en 1473. Aparentemente, el único ejemplar original de esta fecha (Figura 12), se encuentra en la Biblioteca Palafoxiana⁴¹ en México [14].

Ya a comienzos del siglo XVI, salieron publicadas nuevas ediciones de sus Historias, con lo que el texto original de Heródoto entró de nuevo al caudal de la erudición de los siglos

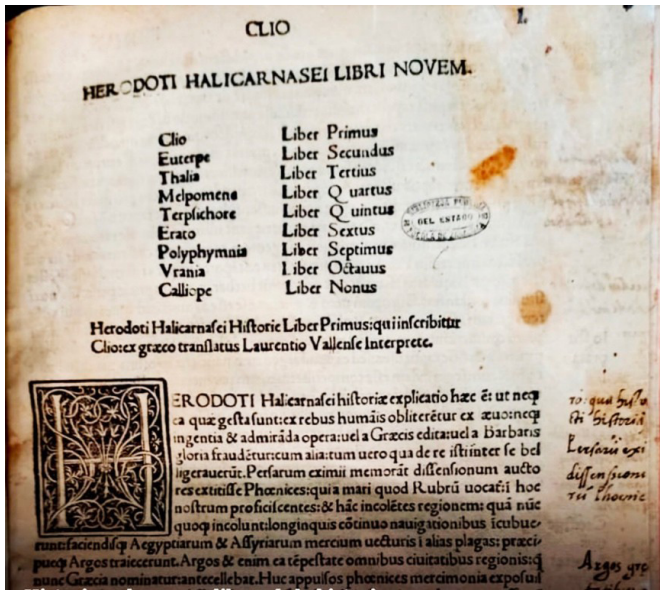


Figura 12. Imagen de la primera página de la traducción al latín más antigua que se conoce (1473), de la obra de Heródoto, impresa en Venecia (impresora de Nicolaus Rubea). Ejemplar conservado actualmente en la Biblioteca Palafoxiana, México. Fuente: <https://adabi.pages.fahho.mx/2023/07/24/herodoto-el-autor-del-libro-mas-antiguo-de-la-palafoxiana/>



Figura 13. Estatua dedicada al historiador Heródoto en su ciudad natal (hoy Bodrum, Turquía). Fuente: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=File:Herodotusstatue.JPG>

posteriores. Es entonces cuando, a finales del Renacimiento, se redescubre la obra de Heródoto, la cual vuelve a leerse con entusiasmo. Su traducción al latín, con diversas impresiones, hace que resurja la historia al estilo inconfundible de Heródoto. En el siglo XVIII se reafirmó su prestigio, a la vez que se comprobó la veracidad de muchos de los pasajes que contaba en sus relatos, y que siempre habían parecido inverosímiles.

Dentro de todos los relatos históricos, etnográficos y geográficos descritos por Heródoto en sus *Nueve libros de la historia*, no solo nos sorprende con las narraciones obtenidas de los habitantes de cada lugar, sino que incorpora sus propias ideas, conceptos y razonamientos. No se conforma con una explicación única de los fenómenos, sino que busca distintos enfoques. Su observación directa y la recopilación de relatos orales lo distingue como un pionero en el estudio de las culturas humanas. Si bien muchas de sus secciones lucen para el lector sumamente fantasiosas, hay que situarse en el momento histórico de Heródoto (Figura 13), donde gran parte del mundo cosmogónico se explicaba a través de la intervención divina de los dioses.

A pesar de ello, Heródoto supo en numerosas ocasiones hacer observaciones, recopilar y clasificar datos, y esbozar conclusiones que aún hoy, casi 2500 años después, nos asombran por su carácter de deducción científica, actuando bajo la premisa de que la naturaleza puede ser analizada y comprendida. Dentro de estas observaciones están las de carácter geológico que se rescatan en este trabajo, y que constituyen prueba fehaciente de que, a Heródoto, además de sus dotes de historiador, etnógrafo y geógrafo, también se le pueden endilgar dotes de geólogo.

Los procesos naturales relacionados con la geología del valle del Nilo, forman parte en sí mismos de la narrativa de la historia egipcia y de todos sus acontecimientos en general, dejando ver que el estado actual es el resultado de su historia pasada. Esta es la evidencia más clara de la relevancia de la historia natural de Heródoto, para su proyecto general en las *Historias*.

Referencias

- [1] Halsall, P. *Ancient History Sourcebook, 11th Britannica: Herodotus*. <https://sourcebooks.fordham.edu/ancient/eb11-herodotus.asp> (2023).
- [2] García, C. *Herodoto, el historiador viajero*. *National Geographic*. Recuperado el 22 de marzo 2025 de https://historia.nationalgeographic.com.es/a/herodoto-historiador-viajero_11890 (2021).
- [3] Tanade, R. *New World Encyclopedia. Herodotus*. Recuperado el 12 de abril, 2025 de <https://www.newworldencyclopedia.org/p/index.php?title=Herodotus&oldid=1149018> (2024).
- [4] Pou, B. *Los nueve libros de la historia de Heródoto de Halicarnaso*. Librería de Hernando y Co., Madrid, 1383 p.

- https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/10/Los_nueve_libros_de_la_historia_de_Her%C3%B3doto_de_Halicarnaso_-_Tomo_II_%281898%29.pdf (1898).
- [5] Rosby, E. *Los nueve libros de la historia*. Ed. Textos-Info, Menorca, España. 624 p. (2017).
 - [6] Britannica. *Herodotus, Greek Historian*. Recuperado el 13 de abril, 2025 de <https://www.britannica.com/biography/Herodotus-Greek-historian> (2025).
 - [7] Viatcheslavova, V. *Natural History in Herodotus' Histories*. Ph. D. unpublished thesis. Harvard University, 195 p. (2009).
 - [8] Abel, G. *El Valle de las Ballenas, un tesoro de fósiles en el desierto de Egipto*. *National Geographic*. Recuperado el 12 de abril, 2025, de https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/valle-ballenas-tesoro-fosiles-pleno-desierto-egipto_17424 (2021).
 - [9] Smith, J. *The Strange Saga of Spinosaurus, the Semiaquatic Dinosaurian Superpredator*. Carnegie Museum of Natural History. Recuperado el 12 de abril, 2025 de <https://carnegiemnh.org/the-strange-saga-of-spinosaurus-the-semiaquatic-dinosaurian-superpredator/> (2020).
 - [10] Caputo, R., Helly, B., Rapti, D. & Valkaniotis, S. Late Quaternary hydrographic evolution in Thessaly (Central Greece): The crucial role of the Piniada Valley. *Quaternary International*. **635**, 3-19. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1040618221000720?via%3DIihub> (2022).
 - [11] Casas, J., Cañizares, M. & Baritto, I. The Great Step Pyramid of Djoser: History, Geology and Nanoplankton content from its rock casing. *Journal of Geological Resource and Engineering* **11**,1-9 <https://www.davidpublisher.com/index.php/Home/Article/index?id=49980.html> (2023).
 - [12] Casas, J.E. Geomitológia, ¿Una conexión entre el Diluvio Universal, la desaparición de Doggerland y la Atlántida?. *Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat* **65**, 75-88 (2024). <https://acading.org.ve/wp-content/uploads/2024/12/GEOMITOLOGIA-%C2%BFUNA-CONEXION-ENTRE-EL-DILUVIO-UNIVERSAL-LA-DESAPARICION-DE-DOGGERLAND-Y-LA-ATLANTIDA.-Jhonny-E.-CASAS.pdf>
 - [13] Harrington, J. The first, first principles of geology. *American Journal of Science* **265**, 449-461 (1967).
 - [14] Biblioteca Palafoxiana. Recuperado el 11 de marzo, 2025 de <https://palafoxiana.com/acervo/> (2020).
- Pericles y en su fundación intervinieron Heródoto, Protágoras de Abdera e Hipódamo de Mileto. Turios fue fundada en 444 a. C. y tomó el nombre de un manantial local.
3. Pericles (c. 495-429 a. C.) fue un importante jurista, magistrado, general, político y orador ateniense en los momentos de la edad de oro de la ciudad. Artífice de la victoria helena sobre los persas en la batalla de Mícala (479 a. C.). Llamado el Olímpico, por su imponente voz y por sus excepcionales dotes de orador. Pericles fomentó las artes y la literatura, por esta razón, Atenas tiene la reputación de haber sido el centro cultural de la Antigua Grecia.
 4. Los Juegos Panatenaicos o Panateneas eran un ciclo de fiestas religiosas y deportivas, que se llevaban a cabo todos los años en Atenas dedicadas a la diosa Atenea (protectora de la ciudad), y que tenían lugar durante algunos días del primer mes en el calendario ático, equivalente a finales del mes de julio actual o principios de agosto. Eran las celebraciones religiosas más antiguas e importantes de Atenas.
 5. Los pormenores de la estancia de Heródoto en Atenas, provienen del prólogo de la traducción hecha por Bartolomé Pou (s.f.), de los *Nueve libros de la historia de Heródoto* (de la Compañía de Jesús, Tomo I. Madrid, Librería de Hernando), traducida del griego al castellano por Bartolomé Pou (1727-1802), quien fue un helenista y erudito español que promovió el estudio de la lengua griega y el gusto por la belleza de su literatura.
 6. Los escitas fueron un pueblo nómada de lengua irania y probable origen en las estepas de Asia. Su territorio abarcaba desde Tracia (actual Bulgaria y Rumania) hasta el Cáucaso y parte de Asia Central.
 7. Aristarco de Samotracia (217-145 a. C.) fue un gramático y miembro de la escuela filológica alejandrina. Vivió en Alejandría durante el reinado de Tolomeo VI Filometor. Sucedió a su maestro Aristófanes de Bizancio como director de la Biblioteca de Alejandría.
 8. Las guerras médicas fueron una serie de conflictos entre el Imperio aqueménide de Persia y las ciudades-estado del mundo helénico que comenzaron en 492 a. C. y se extendieron hasta el año 449 a. C. La colisión entre el fragmentado mundo político de la antigua Grecia y el enorme imperio persa comenzó cuando Ciro II el Grande conquistó Jonia (región de Anatolia, Turquía) en el 547 a. C.
 9. Creso, último rey de Lidia (entre el 560 y el 546 a. C.), perteneció a la dinastía Mermnada, con un reinado que estuvo marcado por la guerra y las artes. Creso conquistó, en definitiva, a todas las ciudades griegas de Anatolia. Heródoto le dedica buena parte de su primer libro de Historia.
 10. Ciro el Grande (600/575 – 530 a. C.) fue el instaurador de la dinastía aqueménide de Persia (circa 559-530 a. C.) y el fundador del primer Imperio persa, extendiendo su dominio por la meseta central de Irán y gran parte de Mesopotamia. Sus conquistas se extendieron sobre Media, Lidia y Babilonia, desde el mar Mediterráneo hasta la cordillera del Hindu Kush, con lo que creó el mayor imperio conocido hasta ese momento. El mismo duró más de doscientos años hasta su conquista final por Alejandro Magno (332 a. C.).

Notas adicionales

1. Marco Tulio Cicerón fue un político, filósofo, escritor y orador romano. Se le considera uno de los más grandes retóricos y estilistas de la prosa en latín de la República Romana. Reconocido universalmente como uno de los autores más importantes de la historia romana, es responsable de la introducción de las más célebres escuelas filosóficas helenas en la intelectualidad republicana, así como de la creación de un vocabulario filosófico en latín.
2. Turios llamada también por algunos escritores latinos y por Ptolomeo como Thurium, fue una ciudad de la Magna Grecia, situada en el golfo de Tarento (península italiana), a corta distancia de Síbaris. La idea de una colonia panhelénica fue de

11. Cambises I, fue un rey persa de Anshan (600–559 a. C.). Padre de Ciro II el Grande, el que posteriormente sería el fundador del Imperio aqueménide. Cambises es un personaje frecuente en los relatos de los historiadores clásicos.
12. La batalla de Maratón fue un enfrentamiento armado que definió el desenlace de la primera guerra médica. Ocurrió el 12 de septiembre del 490 a. C. y tuvo lugar en los campos y la playa de la ciudad de Maratón, situada a pocos kilómetros de Atenas.
13. El paso de las Termópilas se extiende desde Lócrida, en Tesalia, Grecia, entre el monte Eta y el mar (golfo Maliaco). Es un paso ineludible en el trayecto entre el norte y el sur de Grecia, y por sus características geográficas fue elegido como escenario de varias batallas importantes en la historia de Grecia. La contienda más famosa de la antigüedad fue la batalla de las Termópilas, del año 480 a. C., en la que el ejército griego, formado 300 espartanos y 700 tespios al mando de Leónidas (540-480 a. C.), contuvo el avance netamente superior del ejército persa al mando de Jerjes I, rey del Imperio aqueménide.
14. Jerjes I (circa 519-465 a. C.), también conocido como Jerjes el Grande, o Xerxes, fue el cuarto gran rey y rey de reyes del Imperio aqueménide (486-465 a. C.), hijo de Darío I y de Atosa, hija de Ciro II el Grande. En 480 a. C., Jerjes comandó personalmente un gran ejército y cruzó el Helesponto hacia Europa. Logró victorias en las Termópilas y en Artemisio, antes de capturar y arrasar Atenas. Sus ejércitos lograron el control de la Grecia continental, al norte del istmo de Corinto, hasta su derrota en la batalla de Salamina.
15. Hércules o Heracles, uno de los más famosos héroes de la mitología, era hijo de Júpiter, equivalente romano del dios griego Zeus, y la mortal Alcmena. Llevó a cabo doce grandes trabajos, llamados Los Doce Trabajos de Hércules, por lo cual fue deificado. Se caracterizaba por su monstruosa fuerza física sobrenatural y por amar a la humanidad.
16. La palabra ecúmene proviene del griego antiguo *οἰκουμένη*, que significa «tierra habitada». Se refería al mundo conocido por los antiguos griegos y romanos, es decir, la parte de la Tierra que ellos consideraban habitada.
17. El estadio era una unidad de longitud de la antigüedad, principalmente en Grecia y Egipto, cuya medida era variable dependiendo de la época y del lugar. En Grecia un estadio siempre tenía 600 pies, pero la medida del pie no era la misma en todas las ciudades estado.
18. Jufu, Jéops (Kheops en griego), más conocido como Keops, fue el segundo faraón de la cuarta dinastía, perteneciente al Imperio Antiguo de Egipto. Reinó desde el año 2584 hasta el 2558 a. C.
19. Un pletro era una antigua medida griega de longitud y superficie. Como medida de longitud, equivalía a unos 29,6 metros. Como medida de superficie, equivalía al área arada por un par de bueyes en un día, 100 × 100 pies, o 10000 pies cuadrados, unos 874,38 metros cuadrados.
20. El talento (del griego *τάλαντον*, talanton que significa balanza o peso), era una unidad de medida monetaria utilizada en la antigüedad. Tiene su origen en Babilonia, pero se usó ampliamente en todo el mar Mediterráneo durante el período helenístico y la época de las guerras púnicas. En el tiempo de Heródoto, equivalía a cerca de 27 kilogramos de plata.
21. Menes, también llamado Narmer fue un rey del Antiguo Egipto durante el periodo arcaico. Los egiptólogos lo consideran como el probable sucesor del rey predinástico Horus Escorpión II o Horus Ka, siendo considerado por algunos el unificador de Egipto y fundador de la I dinastía.
22. Nomo se denomina a cada una de las subdivisiones territoriales del Antiguo Egipto. Este nombre es de origen griego (*Νομός*, «distrito»); la palabra equivalente egipcia era *hesp* o *sepat*, que designaba la superficie cultivable de los territorios.
23. Meris o Moeris era el nombre dado por los antiguos escritores griegos a un gran lago de la actual región de El Fayún, Egipto, cuyas aguas se regularon en el siglo XIX a. C. bajo el reinado de Amenemhat III, faraón del Imperio Medio. En la actualidad es un lago salado mucho más reducido llamado Birket Qarun.
24. Medida griega de longitud equivalente a 1,77 metros.
25. El río Meandro, hoy Büyük Menderes en Anatolia, era conocido por su curso extremadamente sinuoso, lo que llevó a los griegos a usar su nombre para describir cualquier río o cuerpo de agua con esa característica.
26. El Achelous o Acheloos, es un río en Epiro, Grecia occidental. Es uno de los ríos más largos de esta región.
27. Las islas Equinadas son un grupo de pequeñas islas griegas, parte de las Islas Jónicas, localizadas aguas afuera de la costa de la Acarnania, justo a la entrada occidental del golfo de Corinto. En tiempos de Heródoto, varias de las islas Equinadas quedaron unidas al continente debido a la fuerte progradación de los depósitos deltaicos del actual río Acheloos.
28. En el siglo XVII, el arzobispo James Ussher (1581-1656), un destacado erudito y teólogo irlandés, realizó un cálculo de la antigüedad de la Tierra en 6000 años, basándose en la interpretación de las genealogías bíblicas y otros textos religiosos. La conclusión de Ussher tuvo una gran influencia en la cultura occidental, y su cálculo de la antigüedad de la Tierra fue ampliamente aceptado durante varios siglos.
29. Los griegos, incluido Heródoto, se referían a Amenemhat III como el rey Moeris, siendo este un faraón de la XII Dinastía, que gobernó aproximadamente entre 1860 y 1814 a. C.
30. El codo egipcio media 0,45 metros.
31. Los jonios, o jónicos, eran un grupo de griegos antiguos que habitaban en la región de Jonia, en la costa occidental de Asia Menor (actual Turquía), y se caracterizaban por su dialecto jónico y su influencia cultural en la antigua Grecia.
32. Heródoto, en el Libro 6, nos dice que un esqueno es igual a 60 estadios, equivalentes hoy día a 10,5 kilómetros.
33. Los etesios son fuertes vientos secos del norte del mar Egeo, que soplan desde mediados de mayo hasta mediados de septiembre. Durante los largos días de verano, este es, con mucho, el viento más habitual, y está considerado como una bendición. Los etesios se deben principalmente a la profunda depresión continental centrada en el suroeste de Asia, y que sopla de una dirección que podría ser cualquier sitio entre el noreste y el noroeste dependiendo de la topografía local.

34. El método científico es un proceso sistemático para investigar fenómenos, adquirir conocimientos y corregir o integrar conocimientos existentes, basado en la observación, experimentación y análisis de datos.
35. El río Peneo, Pineos o Pineios, en el norte de Grecia, tiene unos 215 kilómetros de largo y es llamado en griego actualmente Salambria. En la antigüedad clásica tenía el nombre de Peneios, aunque también se hizo conocido por la forma latinizada Peneus. Es el principal río de la región de Tesalia, naciendo en el monte Katara de la cordillera del Pindo, discurriendo con curso muy sinuoso por estrechos valles/gargantas y desembocando en el golfo Termaico del mar Egeo.
36. El río Aras, también transcrito como Araxes en griego, es un largo río asiático en las montañas del altiplano armenio, que desagua en el mar Caspio. Discurre en su curso alto por Turquía, luego es frontera entre Turquía, Armenia, Irán y Azerbaiyán, donde finalmente se adentra. Tiene una longitud de 1072 kilómetros.
37. En la mitología griega, Deucalión hijo de Prometeo, fue el superviviente del gran diluvio enviado por Zeus para castigar los vicios de la raza humana. El diluvio de Deucalión y el relato del Diluvio Universal, presentan similitudes generales, ya que ambos relatos hablan de una inundación catastrófica que destruye la humanidad existente como castigo divino, un arca o cofre que salva a los protagonistas y a sus animales, y una nueva generación que comienza después del diluvio.
38. El uniformitarismo, también conocido como la doctrina de la Uniformidad, es la suposición de que las mismas leyes y procesos naturales que operan en las observaciones científicas actuales, siempre han operado en el pasado. En geología, el uniformismo ha incluido el concepto gradualista de que «el presente es la clave del pasado», y que los eventos geológicos se producen al mismo ritmo que siempre lo han hecho.
39. El humanismo surgió durante el Renacimiento, en Europa, como un movimiento intelectual, filosófico y cultural que enfatiza la dignidad y el potencial de la humanidad, promoviendo la razón, la autonomía y la libertad individual; y que se inspiró en la cultura y filosofía clásicas de Grecia y Roma.
40. Lorenzo Valla fue un humanista, orador, educador y filósofo italiano, considerado el pionero de la crítica histórica y filosófica. El papa Nicolás V contrató a Lorenzo Valla para la traducción (justo antes de la aparición de la imprenta) de documentos griegos, tanto paganos como cristianos, al latín, lo que contribuyó enormemente a la expansión del humanismo.
41. La Biblioteca Palafoxiana fue fundada en el año 1646 por el obispo español Juan de Palafox y Mendoza en Puebla de los Ángeles (México), y es considerada como la primera biblioteca pública de América. El ejemplar de la obra de Heródoto que se conserva, formaba parte de la librería del Colegio de la Compañía de Jesús de Puebla de los Ángeles, según reza una anotación en las primeras páginas.

ESPERANZA Y LUTO EN EL ANTROPOCENO: ENTENDIENDO EL DUELO ECOLÓGICO

HOPE AND MOURNING IN THE ANTHROPOCENE: UNDERSTANDING ECOLOGICAL GRIEF

Antonio Machado-Allison¹

Estamos viviendo en una época de extraordinaria pérdida ecológica. Las acciones humanas no solo están desestabilizando las mismas condiciones que sostienen la vida, sino que también está cada vez más claro que estamos empujando a la Tierra a una era geológica completamente nueva, a menudo descrita como el Antropoceno [1].

RESUMEN

El reconocimiento y evaluación de los impactos sobre las comunidades humanas y la vida silvestre (recursos naturales) es un primer paso importante para entender e interpretar un nuevo concepto sobre lo que se llama dolor ecológico. Así, numerosas organizaciones se han dedicado a su investigación, diagnóstico, evaluación y oportunamente sugerir alternativas que minimizarán o eliminarán estos factores. Este ensayo presenta un primer diagnóstico sobre el efecto y amenaza que ha tenido el desarrollo del Proyecto «Arco Minero del Orinoco» sobre las comunidades humanas y los recursos naturales en la Guayana venezolana. El dolor ecológico se manifiesta en estas poblaciones como un dolor actual por la destrucción ecológica mediante la denuncia pública, el litigio y la protesta social. Los resultados de este proyecto minero nacional han dado como resultado amenazas, disminución de calidad de vida y deterioro de los recursos naturales y coloca en peligro a las comunidades humanas en nuestro país.

ABSTRACT

The recognition and assessment of impacts on human communities and wildlife (natural resources) is an important first step in understanding and interpreting a new concept of what is called ecological grief. Thus, numerous organizations have dedicated themselves to their research, diagnosis, evaluation, and timely suggest alternatives that will minimize or eliminate these factors. This essay presents a first diagnosis of the effect and threat that the development of the "Orinoco Mining Arc" Project has had on human communities and natural resources in Venezuelan Guiana. Ecological pain manifests itself in these populations as a current pain due to ecological destruction through public denunciation, litigation, and social protest. The results of this national mining project have resulted in threats, a decrease in the quality of life, and deterioration of natural resources and endanger human communities in our country.

Palabras clave: duelo ecológico, minería, salud.

Keywords: Ecological Grief, Mining, Health.

1. Introducción

En esta nota se evidencia que las personas sienten cada vez más los efectos de estos cambios planetarios y las pérdidas ecológicas asociadas en su vida diaria, y que estos cambios presentan amenazas directas e indirectas significativas para la salud mental y el bienestar. El cambio climático y los impactos asociados a la tierra y el medioambiente, por ejemplo, se han relacionado recientemente con una serie de impactos negativos en la salud mental, que incluyen depresión, ideación suicida, estrés postraumático, así como sentimientos de ira, desesperanza, angustia y desesperación [2,3,4,5,6].

Sin embargo, no está bien representada en la literatura una respuesta emocional que llamamos «dolor ecológico», que se ha definido en un artículo reciente de *Nature Climate Change* [3]: *El dolor que se siente en relación con las pérdidas ecológicas experimentadas o anticipadas, incluida la pérdida de especies, ecosistemas y paisajes significativos debido a un cambio ambiental agudo o crónico.*

Creemos que el dolor ecológico es una respuesta natural, aunque pasada por alto, a la pérdida ecológica, y es probable que afecte a más de nosotros en el futuro. Es hoy notorio los cambios ambientales globales producidos por el Efecto Invernadero como producto de las emisiones de CO₂ y otros

¹ Biólogo, Universidad Central de Venezuela (UCV). Individuo de Número, Sillón III de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales de Venezuela (Acfiman). Correo-e: machado.allison@gmail.com

gases durante el desarrollo industrial y humano. La comunidad científica ha identificado el incremento de estos efectos a partir de los inicios del siglo XX. El clima mundial se encuentra en crisis debido a cambios en los ciclos naturales: lluvia-seca, tormentas y huracanes, aumento de temperatura oceánica y terrestre y muchos otros englobados en lo que hoy se conoce como Cambio Climático (**Cuadro 1**). Numerosas reuniones técnicas y políticas se han desarrollado mundialmente para establecer guías, compromisos de Estado y programas que reduzcan la producción de estos factores que dañan el equilibrio y ciclo natural del clima terráqueo.

Sin embargo, «dolor ecológico» lo asociamos más a acciones particulares sobre biomas consideradas culturalmente importantes en nuestras vidas como: el deterioro o amenaza sobre las «barreras de coral» en Australia o en el mar Caribe, la «deforestación creciente en la Amazonía» para agregar tierras dedicadas a la cría de ganado o siembra agrícola, la «potencial extinción» de las ballenas en el Ártico debido a su cacería, las «islas de basura y plástico» en nuestros océanos y muchos otros. Todo ello es conocido y justificado, pero en general carente de programas efectivos de protección, otros, que la acción de particulares, muchas veces en manos de organizaciones no gubernamentales.

El «dolor ecológico» así como la «pesadumbre humana» se manifiesta de forma diferente entre individuos y culturas, aunque esta esté muy bien entendida en su relación con las pérdidas humanas (fallecimiento). Raramente, se concibe o considera como algo relacionado con la «pérdida» en el mundo natural (deforestación, contaminación del agua, biodiversidad). Sin embargo, la experiencia con el trabajo en comunidades indígenas en nuestro país muestra que ellos están mucho más arraigados a la naturaleza y sus potenciales pérdidas, ya que estas pérdidas pueden y realmente se convierten en una amenaza a su forma de vida.

2. El «Arco Minero del Orinoco»: su daño al ser humano y al ambiente ecológico, un ecicidio

Debo empezar esta sección con algunas referencias sobre nuestros acuerdos globales de comportamiento humano. La Declaración de Río de las Naciones Unidas [8] introdujo nuevos estándares éticos y morales sobre el estado actual y el cuidado futuro del planeta. La firma de ese tratado por todas las naciones identificó la necesidad de cambiar las actitudes públicas hacia los entornos físicos y naturales. Desde entonces, las organizaciones y agencias mundiales han tratado de garantizar los derechos de los espacios físicos y biológicos otros. Los argumentos conservacionistas y, muchas veces, de los indígenas, exhortan a los derechos de todas las entidades del planeta contra sus designaciones como «recursos naturales» en beneficio y desarrollo de las sociedades humanas.

Cuadro 1. Algunos de los efectos del cambio climático en nuestro planeta. Fuente: Katya Briceño [7]

1. Las temperaturas seguirán en aumento

Dado que el calentamiento inducido por el hombre se superpone a un clima que cambia naturalmente, los aumentos de temperatura no han sido ni serán uniformes, ni siquiera dentro de un mismo país.

2. El Ártico puede quedarse sin hielo

Se espera que, a mediados del siglo, el océano Ártico esté en gran parte libre de hielo. De acuerdo con *Greenpeace*, durante los últimos 30 años el área total de hielo marino ártico ha disminuido en verano. Esto no sólo provoca cambios importantes en los ecosistemas locales, sino que también afecta a los sistemas climáticos de todo el mundo.

3. El período libre de heladas (y la temporada de crecimiento de temperatura) se extenderá

En un futuro donde las emisiones de gases que atrapan el calor continúan aumentando, se prevé que los períodos de cultivo sin heladas aumenten aproximadamente un mes o más para fines de siglo.

4. Aumento del nivel del mar

Cuando la temperatura de la superficie de la Tierra aumenta, el hielo glacial, el hielo marino y las plataformas de hielo polar se derriten. Cuando esto sucede, aumenta la cantidad de agua que fluye hacia los océanos del mundo, lo que hace que el nivel del mar aumente drásticamente y ponga en peligro a muchas ciudades que se encuentran a nivel del mar.

5. Olas de calor

Las olas de calor son cada vez más comunes debido a los gases de efecto invernadero atrapados en la atmósfera. Las investigaciones muestran que estas olas de calor seguirán aumentando en los próximos años. Esto conducirá a un aumento de enfermedades relacionadas con el calor e innumerables incendios.

6. Tormentas

A raíz del fenómeno del calentamiento global, las tormentas se incrementarán a medida que se eleve la temperatura oceánica. Por lo tanto, es probable que la aparición de huracanes se intensifique.

7. Sequías

Las sequías están en el otro polo del espectro y podemos verlas causando estragos en todo el planeta. La Tierra se está calentando y, a su vez, el agua dulce está disminuyendo, lo que conduce a malas condiciones agrícolas. Esto llevaría a malas cosechas y traería consigo incertidumbre sobre la seguridad alimentaria.

8. Extinción de especies

La desertificación, el aumento de la temperatura de los océanos y la deforestación están provocando cambios catastróficos e irreversibles en el hábitat de varias especies, las cuales pronto podrían extinguirse. Una característica clave de la existencia humana es la biodiversidad, y la pérdida de flora y fauna debido a la extinción masiva que amenaza a nuestro planeta nos pone en riesgo.

9. Enfermedades

Todos los diversos efectos del cambio climático, como el aumento de las temperaturas, las inundaciones y las sequías, crean condiciones favorables para las ratas, los mosquitos y otras plagas portadoras de enfermedades.

10. Alteración de los ciclos biológicos y distribución geográfica de la flora y fauna

La sobreexplotación del medio natural, la pérdida de los hábitats de las especies, la contaminación del medioambiente y la introducción de especies exóticas invasoras pueden generar un cambio drástico en la distribución de la flora y fauna.

Los 27 principios establecidos por la Declaración de Río han sido utilizados por algunas naciones para desarrollar políticas públicas destinadas a garantizar el cumplimiento del tratado. Es común observar naciones cuyas leyes, reglamentos y acuerdos incorporan la necesidad de que:

Los seres humanos están en el centro de las preocupaciones por el desarrollo sostenible. Tienen derecho a una vida sana y productiva en armonía con la naturaleza (Principio 1),

así como

Los Estados tienen, de conformidad con la Carta de las Naciones Unidas y los principios del derecho internacional, el derecho soberano a explotar sus propios recursos de conformidad con sus propias políticas ambientales y de desarrollo, y la responsabilidad de velar por que las actividades dentro de su jurisdicción o control no causen daños al medio ambiente de otros Estados o de zonas situadas fuera de los límites de la jurisdicción nacional... (Principio 2).

hasta las reglas y visión de futuro que:

El derecho al desarrollo debe cumplirse para satisfacer equitativamente las necesidades ambientales y de desarrollo de las generaciones presentes y futuras. (Principio 3).

Sin embargo, también, incluyeron consideraciones del carácter integrador de los procesos de vida y sus entornos, tales como:

Para lograr el desarrollo sostenible, la protección del medioambiente debe ser una parte integral del proceso de desarrollo y no puede considerarse de forma aislada. (Principio 4),

o que,

Los Estados cooperarán en un espíritu de asociación mundial para conservar, proteger y restaurar la salud y la integridad del ecosistema de la Tierra.... (Principio 7),

y

La paz, el desarrollo y la protección del medio ambiente son interdependientes e indivisibles. (Principio 25).

No obstante, también observamos que las acciones que permiten garantizar estos compromisos se implementan parcial o se ignoran totalmente.

Así que, si

El altruismo, la cooperación y el cuidado de los vulnerables es lo que hizo que nuestra especie fuera única. Es la empatía y la cooperación, no el interés propio y la competencia, lo que impulsó nuestra evolución fisiológica, cognitiva, lingüística, cultural, social y tecnológica [9].

Entonces, debemos preguntarnos: ¿por qué nuestro comportamiento histórico y real no impregna fuertemente la

consideración sobre la afectación del medioambiente y sus consecuencias?

El río Orinoco es la segunda cuenca hidrográfica más grande de América del Sur y la quinta más grande del mundo en términos de flujo de agua. La cuenca del Orinoco se considera una de las áreas biológicamente más diversas del planeta, lo que contribuye al reconocimiento de que Colombia y Venezuela son una región megadiversa del mundo. Además, la cuenca del río proporciona inmensos servicios ecológicos que no solo apoyan, sino que permiten que florezca la diversidad de la vida en el río y las áreas terrestres adyacentes. Agua, suelos ricos, extensas áreas boscosas, gran diversidad de elementos de flora y fauna, bellezas físico-naturales para la observación y deleite del hombre. Sin embargo, también es muy importante, ya que es el hábitat de numerosos grupos étnicos indígenas que históricamente viven asociados a estos ambientes naturales [10,11,12].

El paisaje particular de las áreas guayanesas está constituido principalmente por una vegetación exuberante, lujuriosa y variada que podría permitir la conclusión de una gran riqueza de nutrientes en los suelos. Sin embargo, este no es el caso. Las especies arbóreas dominantes son de crecimiento lento, estrechamente ligadas a la disponibilidad de nutrientes y asociaciones biológicas (micorrizas) que permiten la incorporación de estos elementos [13, 14, 15, 16]. Más de 9000 especies de plantas se han registrado en el área a partir del estudio de sabanas gramíneas, sabanas boscosas y arbustivas, bosques caducifolios y de hoja perenne, morichales en las zonas bajas y una flora particular (y generalmente endémica) en las alturas tepuyenses [17]. Este componente biótico (vegetación) no solo se asocia con el origen de los inmensos cuerpos de agua, sino que son particularmente importantes, ya que representan el material orgánico externo utilizado para el mantenimiento alimentario como frutos, semillas, hojas, insectos terrestres, entre otros, de la fauna acuática.

Por otro lado, la fauna terrestre y acuática es diversa y dada su protección forestal, constituye el último reducto de numerosas especies amenazadas y en peligro de extinción. Por ejemplo: cunagueros, ciervos, delfines de río, jaguares, manatíes, nutrias, pumas y tapires además de numerosas especies de aves; mientras que la fauna acuática, principalmente vertebrados (anfibios, peces y reptiles) abundante y diversa, está conformada por numerosas especies de importancia pesquera (ornamentales y de consumo) y son el único sustento de numerosas comunidades humanas en la zona [18, 19].

Guayana, además, es el hogar de antiguas poblaciones indígenas. Al menos 15 grupos étnicos generalmente habitan áreas asociadas a ríos y otros cuerpos de agua permanentes (lagos y lagunas), aprovechando estos recursos alimenticios o transporte. Estas poblaciones están amenazadas por la explo-

tación de recursos como la madera (deforestación) y explotación (extracción) de minerales (bauxita, diamante, hierro y oro, entre otros) [20, 23].

Razones existieron para que dada su importancia tanto geológica, como biótica de estas cuencas hidrográficas en nuestra Guayana, se hayan creado varias áreas protegidas (ABRAE) como Parques Nacionales y Monumentos Naturales: Canaima, Caura, Cerro Yapacana, Duida, Tapirapeco, Jaua-Sarisariñama y todos los tepuyes. Además, distintas zonas consideradas como Reserva de la Biosfera del Alto Orinoco, Reservas Forestales (p. ej., Imataca), Reservas hídricas como los ríos Caroní (Hidroelectricidad) y Caura (agua y biodiversidad) y otros que hubieran permitido una protección, que de acuerdo con la formalidad legal (p. ej. tierras indígenas), impidieran el desarrollo de actividades humanas que causan deterioro ambiental [18, 21, 22, 23].

Así que, en los últimos años, mucha ha sido la discusión entre agencias gubernamentales, ONG universidades, institutos o grupos de investigación, asociaciones indígenas y otros actores sobre el desarrollo y uso sostenible de los recursos de la Guayana venezolana. En particular, las actividades industriales o artesanales asociadas a la explotación del oro, con evidente daño al medioambiente, su fauna acuática y a las poblaciones humanas. Entre estas se pueden identificar:

- La exploración y explotación de oro destruyó enormes áreas de bosques húmedos y siempreverdes del escudo de Guyana en Venezuela.
- Numerosos ríos han sido afectados por incremento de deforestación, sedimentos o sólidos suspendidos producto de la erosión de suelos desnudos.
- La minería: el oro extraído por procesos de amalgamación con mercurio metálico (Hg), el cual es posteriormente volatilizado por calor, liberándose como gases de mercurio al ambiente, suelos y aguas.
- Se ha estimado que 45 % de este mercurio, se incorpora a la columna de agua y posteriormente transformado en metilmercurio por microorganismos (MeHg^+ o CH_3Hg^+), el cual es altamente tóxico.
- En el agua el metilmercurio, MeHg^+X^- es rápidamente incorporado en la cadena alimentaria, (asociándose a los aminoácidos) desde microorganismos detritívoros hasta carnívoros, acumulándose en cantidades significativas en peces, reptiles, mamíferos acuáticos hasta humanos. El metilmercurio es un compuesto de acción neurotóxica causando efectos dañinos a la biota y la gente.
- Se ha reconocido que la contaminación por mercurio en la Guayana venezolana es un problema de salud pública por más de 50 años. Durante este tiempo, se han realizado un

número significativo de investigaciones que han revelado la presencia de mercurio en altas concentraciones en personas que viven en zonas mineras e indican que la concentración de mercurio en muestras de mineros en El Callao y áreas cercanas a zonas de procesamiento de oro es la más alta del mundo.

El Decreto a la Creación de la Zona Nacional de Desarrollo Estratégico Arco Minero del Orinoco [24] declara yacimientos de minerales preciosos y estratégicos como oro, diamantes, coltán, bauxita y hierro ubicados en un área cercana a los 112000 km². El área incluye el sector norte del escudo Guayanés, el bosque inundado y las sabanas de la orilla sur del río Orinoco y vastas áreas de las cuencas de los ríos Aro, Caura, Caroní, Cuchivero, Sipapo y Yaruari. El decreto provocó la intervención de reconocidas e importantes áreas dada su alta biodiversidad, seguridad hídrica y enormes servicios ambientales. Además, deteriora áreas históricamente utilizadas por asentamientos indígenas.

El decreto se acompañó de información o propaganda con la creación de un nuevo Ministerio del Poder Popular para el Desarrollo Minero Ecológico para convencer a la gente de que es posible desarrollar una minería ecológica definiendo esta como:

Entiende la relación integral y complementaria entre los seres humanos y el medio ambiente, tomando en consideración la cultura de los “pueblos mineros venezolanos”, de los pueblos indígenas, de la economía como factor de nuestra sociedad y de los recursos naturales necesarios para el emprendimiento de cada una de las actividades de nuestro tiempo [25].

El desarrollo de una minería ecológica es un oxímoron; es poco probable que se desarrolle este tipo de actividad que no afecte a la ecología o al medio ambiente o al ser humano. Aún más, para la extracción de polvo de oro u oro aluvional es necesaria la deforestación, la reducción del suelo a través del agua, el uso de mercurio y la consecuente contaminación de suelos y cuerpos de agua. El gobierno propone un cambio metodológico utilizando cianuro, igualmente una sustancia altamente peligrosa y tóxica, y su proceso es similar al uso de mercurio.

Además, advierten en la exposición de motivos del decreto anteriormente citado que el gobierno:

1) consultará con las comunidades indígenas; 2) obligará la necesidad de que los contratistas evalúen los posibles impactos ambientales de sus operaciones, y 3) indicará la prohibición del almacenamiento, distribución y uso de mercurio y cianuro. Nada de lo cual se ha cumplido realmente. Como mostraron varias ONG, academias y universidades, todas estas actividades fueron consideradas una destrucción masiva ambiental, un ecicidio y un crimen contra la humanidad.

Como consecuencia del deterioro ambiental, se ha causado una gran cantidad de enfermedades emergentes que se consideraban controladas en el pasado. En párrafos anteriores mostramos la amenaza del mercurio y cómo esta contaminación se considera una crisis pública nacional. A continuación, discutiremos sobre contingencias sanitarias y sociales promovidas por la actividad minera en la Guayana venezolana.

Varias denuncias de centros académicos, ONG, así como de organizaciones de salud (públicas y privadas) mostraron un aumento en la concentración de mercurio en las poblaciones locales y de enfermedades relacionadas con el medio acuático como la malaria, fiebre amarilla y otras debidas al incremento de aguas estancadas que permiten la cría de larvas y proliferación de adultos de mosquitos transmisores [23, 26, 27, 28, 29, 30, 31]. En artículos recientes liderados por la Dra. Grillet [32, 33] afirmaron entre otros problemas que los últimos 5-10 años, Venezuela ha enfrentado una grave crisis económica, precipitada por la inestabilidad política y la disminución de los ingresos petroleros. De modo que la provisión de salud pública se ha visto particularmente afectada. En esos trabajos se evaluaron los impactos de la crisis de salud de Venezuela en las enfermedades transmitidas por vectores y la dispersión o contagio a los países vecinos. Entre 2000 y 2015, Venezuela fue testigo de un aumento del 359 % en los casos de malaria, seguido de un aumento del 71 % en 2017 (411 586 casos) en comparación con 2016 (240 613). Los países vecinos, como Brasil, han reportado una tendencia creciente de casos de malaria importados de Venezuela, de 1538 en 2014 a 3129 en 2017.

Además, concluyen:

*La minería ilegal de oro y su deforestación asociada han aumentado y se han expandido en el sur de Venezuela desde el año 2000, con un incremento anual particular y marcado a partir de 2009. De todas las regiones del sur, el municipio de Sifontes, el principal foco de malaria en Venezuela, ha exhibido una tendencia estadísticamente significativa en la pérdida anual de bosques, con un aumento estimado en la pérdida de 120 hectáreas / año (2000 a 2020)... Durante el mismo período, el área ocupada por las actividades mineras de oro en la región ha aumentado de 14,797 ha (2000) a 34,465 ha en 2020 y tanto *P. vivax* como *P. falciparum* han aumentado en incidencia (4-8 veces) con una disminución concomitante (3-6 veces) de esta vegetación de cobertura [33].*

El aumento de casos (2018-2024) se extenderá por todo en toda la nación y advierten que los países vecinos pueden estar en riesgo de contagio si no se toman las medidas preventivas adecuadas, ya que los venezolanos desesperados buscarán cruzar las fronteras en busca de atención médica y medicamentos que no están disponibles en Venezuela y el aumento de la población migratoria debido a la crisis social y económi-

ca. Además, esta crisis sanitaria se ha incrementado debido a la incorporación de mineros artesanales provenientes de los países vecinos Colombia, Brasil y Guyana, dado el desorden, pobre regulación de controles nacionales.

Por otro lado, se han publicado durante los últimos años denuncias sobre las condiciones de vida en estas áreas rurales. Así, en el marco del deterioro de las crisis económicas y humanitarias en Venezuela, la industria minera ilícita está en auge en los estados sureños de Bolívar y Amazonas, hogar de varios parques nacionales, ABRAE y más de 10 comunidades indígenas cuyas tradiciones ancestrales y formas de vida están arraigadas a estas tierras. Estas actividades son operadas por grupos criminales que emplean la violencia y el terror; las minas ilegales están desplazando a los pueblos indígenas y desatando una devastación ambiental generalizada. Mientras la crisis económica, humanitaria y política en Venezuela empeora, los grupos criminales, incluidas las pandillas, los grupos guerrilleros y los colectivos (grupos paramilitares), compiten por el control de los valiosos recursos minerales del país. Estos recursos incluyen bauxita, coltán, diamantes y, en particular, oro. La minería ilegal está causando daños irreversibles al medioambiente y alimentando abusos contra los derechos humanos y creando importantes amenazas a la seguridad de Venezuela y la región [31].

Todo lo anteriormente expuesto se encuentra en clara violación de nuestras leyes y a la Constitución de 1999 [34] que garantiza varias medidas para proteger a los ciudadanos y las comunidades. Los artículos 127, 128 y 129 de la República Bolivariana de Venezuela claramente indican:

- Toda persona tiene derecho, individual y colectivamente, a disfrutar de una vida y un medioambiente seguro, saludable y ecológicamente equilibrado.
- El Estado protegerá el medioambiente, la diversidad biológica y genética, los procesos ecológicos, los parques nacionales y monumentos naturales y otras áreas de especial importancia ecológica.
- El Estado desarrollará una política de ordenamiento territorial considerando las realidades ecológicas [...] de acuerdo con las premisas del desarrollo sostenible, que incluye información, consulta y participación ciudadana.
- Todas las actividades que puedan causar daños a los ecosistemas deben ir acompañadas previamente de estudios de impacto ambiental y sociocultural.
- El Estado impedirá la entrada al país de desechos tóxicos y peligrosos, así como la fabricación y uso de armas nucleares, químicas y biológicas...
- En los contratos que la República celebre con personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras, o en los permisos

que se otorguen, que afecten los recursos naturales, se considerará incluida la obligación de preservar el equilibrio ecológico, aunque no se exprese...

Por otro lado, la Organización de las Naciones Unidas [35], recientemente, publicó un informe sobre la violación de los derechos civiles, denunciando al gobierno, las fuerzas armadas regulares y los paramilitares como los principales actores de estas violaciones. Los comunicados de prensa indican que:

Las personas que trabajan en la región venezolana del Arco Minero del Orinoco están atrapadas en un contexto generalizado de explotación laboral y altos niveles de violencia por parte de grupos criminales que controlan las minas de la zona.

y resume las principales violaciones incluidas en el informe de la Alta Comisionada de las Naciones Unidas [35] e información proveniente de las asociaciones indígenas [28, 29, 30, 31] como:

- Los grupos criminales, conocidos localmente como «sindicatos», ejercen control sobre muchas operaciones mineras en el Arco Minero del Orinoco. *Deciden quién entra o sale de las zonas mineras, imponen reglas, aplican castigos físicos crueles a quienes violan esas reglas y se benefician económicamente de todas las actividades en las áreas mineras, incluido el recurso a prácticas de extorsión a cambio de protección.* El informe detalla cómo los grupos mantienen su presencia y actividades ilegales en las minas a través de un sistema de corrupción y soborno que incluye el pago a comandantes militares.
- Debido a la crisis económica y la falta de oportunidades de trabajo en Venezuela, la migración interna a la región minera ha aumentado dramáticamente en los últimos años, con trabajadores que participan en el trabajo informal para llegar a fin de mes y cubrir las necesidades básicas para ellos y sus familias.
- Los mineros trabajan turnos de 12 horas, descendiendo a pozos profundos sin ninguna protección. Se les exige que paguen alrededor del 10-20 % de lo que ganan a los grupos criminales que controlan las minas, y un 15-30 % adicional al propietario del molino donde se trituran las rocas para extraer oro y otros minerales.
- Las mujeres también participan tanto en la minería como en otros trabajos relacionados. Varias personas entrevistadas para el informe sugieren que desde 2016 ha habido un fuerte aumento de la prostitución, la explotación sexual y la trata de personas en las zonas mineras, incluso de niños y adolescentes. La Oficina de Derechos Humanos de la ONU también ha recibido informes de niños de tan solo nueve años que trabajan en minas.
- Los entrevistados informaron que se imponen castigos estrictos a quienes no cumplen con las reglas impuestas por los grupos criminales: además de las palizas severas, tales castigos incluyen recibir un disparo en las manos o que se les corte la mano, y llegan al asesinato. Los relatos de testigos oculares describen cómo los cuerpos de los trabajadores a menudo se arrojan a viejos pozos mineros. La violencia también se deriva de las disputas por el control de las minas. Sobre la base de un análisis de fuentes abiertas, la Oficina de Derechos Humanos de la ONU identificó 16 disputas de este tipo en los últimos cuatro años que supuestamente causaron unas 149 muertes. Las fuerzas de seguridad presuntamente participaron en algunos de estos incidentes.
- A pesar de la importante presencia de fuerzas militares y de seguridad en la región y de los esfuerzos por hacer frente a las actividades delictivas, las autoridades no han podido investigar y enjuiciar las violaciones de derechos humanos, los abusos y los delitos conexos con la minería.
- Las autoridades deben tomar medidas inmediatas para poner fin a la explotación laboral y sexual, el trabajo infantil y la trata de personas, y deben dismantelar los grupos criminales que controlan las actividades mineras. También deben investigar, procesar y castigar a los responsables de crímenes y violaciones a los derechos humanos.
- Las condiciones de vida en las zonas mineras son espantosas, sin agua corriente, electricidad o saneamiento. Los pozos de agua estancados y contaminados debido a la minería son caldo de cultivo para los mosquitos, causando un aumento en los casos de malaria en la región, lo que afecta no solo a los trabajadores migrantes sino también a las comunidades indígenas.
- Ambos grupos, mineros e indígenas también se ven gravemente afectados por la intoxicación por mercurio. Los trabajadores y las personas que viven en el área respiran los gases tóxicos creados durante el proceso. También se vierte en el suelo, se filtra en los ríos y se ingieren peces contaminados.
- La minería ilegal también afecta el disfrute de los derechos individuales y colectivos de los pueblos indígenas, debido a la destrucción de su hábitat y la falta de control sobre sus territorios tradicionales y recursos naturales.
- El informe también examina cuestiones de justicia en general en Venezuela y describe cómo la independencia del sistema de justicia se ha visto significativamente socavada por la inseguridad en la tenencia de jueces y fiscales; la falta de transparencia en el proceso de su nombramiento; condiciones de trabajo precarias, e injerencia política.
- Esta situación ha afectado gravemente la capacidad del poder judicial para actuar de manera independiente a fin de proteger los derechos humanos y está contribuyendo a la

impunidad. A pesar de los recientes esfuerzos realizados por el Ministerio Público para investigar las violaciones de derechos humanos cometidas por las fuerzas de seguridad, la falta de determinación de responsabilidad es especialmente significativa en casos de asesinatos en el contexto de protestas y durante operaciones de seguridad, así como en denuncias de tortura y maltrato y violencia de género.

- Las víctimas de violaciones y de abusos de los derechos humanos continúan enfrentando barreras legales, políticas y socioeconómicas para acceder a la justicia, en especial las mujeres, enfrentan desafíos específicos de género.

El dolor ecológico puede manifestarse en estas poblaciones como un dolor actual por la destrucción ecológica pasada manifestada a través de la denuncia pública, litigio, protesta social. Al mismo tiempo, llamar la atención pública general de lo que prevén sucederá en el futuro de no tomar acciones oportunas y correctivas mediante la incorporación de medidas, acuerdos, estudios y propuestas, como han sido evidentes en el desarrollo del Arco Minero del Orinoco. Por milenios estas poblaciones han vivido en paz y asociadas espiritual y culturalmente a su hábitat natural, como bien indican sus creencias milenarias [18, 28, 29, 30, 31], entre muchos otros.

3. ¿Cómo podría el reconocimiento del dolor ecológico influir en la formulación de políticas ambientales más efectivas?

Así, el reconocimiento y evaluación de los impactos sobre las comunidades y la vida silvestre (recursos naturales) es un primer paso importante para entender el alcance del dolor ecológico. Numerosas organizaciones se han dedicado a su diagnóstico, evaluación y oportunamente sugerir alternativas que minimizarán o eliminarán estos factores. Un ejemplo claro fue el promovido por la Fundación Avina y la Red de Organizaciones Ambientales no Gubernamentales de Venezuela (Red Ara), en el 2013 [30] en el cual proponen planes urgentes a corto (despistaje de contaminación e intoxicación humana y animal, atención médica y educación) y largo plazo (programas de formación en salud pública comunitaria, producción y consumo de alimentos, comunicación educativa dirigido a los riesgos de la destrucción y contaminación química, alternativas de empleos) todo ello para garantizar la capacitación de mineros, cumplimiento de los derechos ambientales y humanos, recursos para el registro permanente de impactos, establecer programas de mitigación y remediación de áreas perturbadas. Su solución necesita del involucramiento de todos los sectores de la sociedad venezolana para garantizar el cumplimiento de las normas y leyes de protección ambiental y humana, y así proteger la vida y los ecosistemas esenciales para el futuro de la humanidad.

4. ¿Podría el concepto de dolor ecológico generar mayor conciencia y movilización social frente a la crisis climática? ¿Cómo puede integrarse esta perspectiva en el desarrollo sostenible para minimizar impactos socioambientales?

Es oportuno y necesario pensar que nuestras experiencias de dolor y trauma ecológico como el manifestado nos proporcionan un espacio adecuado para reflexionar sobre los valores sociales, las costumbres y las prácticas que hemos desarrollado durante nuestro desarrollo humano y a la vez podamos conocer y tener el atrevimiento o fortaleza para reconstruir una nueva forma de relacionarnos con nuestro planeta para así prevenir mayor destrucción, dolor y traumas a nuestras generaciones futuras. Como nos indica Mark Shelvock [6]:

Es posible un cambio cultural profundo hacia una mayor interconexión, aunque requiere un grado de aprendizaje, desaprendizaje, defensa, acción y desarrollo personal al que muchos de nosotros no estamos acostumbrados.

Referencias

- [1] The Conversation. *Duelo en el Antropoceno* (2018) https://theconversation.com/hope-and-mourning-in-the-anthropocene-understanding-ecological-grief-88630?utm_source=clipboard&utm_medium=bylinecopy_url_button
- [2] Cunsolo, A. Ecological Grief. En: *Mourning Nature: Hope at the Heart of Ecological Loss and Grief* (eds. Cunsolo, A. & Landman, K.). McGill, Queen's Univ. Press, Montreal, pp. 169-189 (2017).
- [3] Cunsolo, A. y Ellis, N. R. Ecological grief as a mental health response to climate change-related loss. *Focus Perspective*. Macmillan Publishers Limited, part of Springer Nature. *Nature Climate Change* **8**, 275-281 (2018).
- [4] Kessler, R. C. S., Galea, M. J., Gruber, N. A., Sampson, R. J., Ursano y S. Wessely. Trends in mental illness and suicidality after Hurricane Katrina. *Mol. Psych.* **13**, 374-384 (2008).
- [5] Morrice, S. Heartache and Hurricane Katrina: recognizing the influence of emotion in post-disaster return decisions. *Area* **45**, 33-39 (2013).
- [6] Shelvock, M. *What is Ecological Grief and Trauma*. Psychology Today (2023) <https://www.psychologytoday.com/us/blog/navigating-the-serpentine-path/202301/what-is-ecological-grief-and-trauma#:~:text=The%20ongoing%20climate%20breakdown%20is%20resulting%20in%20a,or%20support%20for%20this%20unique%20type%20of%20suffering>. (consultado en marzo 2025).
- [7] Briceño, K. 10 efectos del cambio climático que afectan a la Tierra (2025) <https://planb.mx/efectos-del-cambio-climatico-actuales/> (consultado en julio 2025).
- [8] Organización de Naciones Unidas ONU. *Declaración de Río: Reporte de la Conferencia sobre el Ambiente y el Desarrollo de las Naciones Unidas.5* (1992) https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_CONF.151_26_Vol.I_Declaration.pdf (consultado en julio 2025).

- [9] Veissière, P. *Caring for others is what made our species unique* (2015) <https://www.Psychologytoday.com/us/blog/culture-mind-and-brain/201510/caring-for-others-is-what-made-our-species-unique?msocid=1074607dc39968622ffb72ddc2416983>.
- [10] Lasso, C. A., Usmá, J. S., Trujillo F. y Rial A. (eds.). *Biodiversidad de la cuenca del Orinoco: bases científicas para la identificación de áreas prioritarias para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, WWF Colombia, Fundación Omacha, Fundación La Salle e Instituto de Estudios de la Orinoquia (Universidad Nacional de Colombia). Bogotá, D. C., Colombia. 611 pp. (2010).
- [11] Lasso, C. A., Rial, A., Matallana, C., Ramírez, W., Señaris, J., Díaz-Pulido, A., Corzo, G., y Machado-Allison, A. (eds.). *Biodiversidad de la cuenca del Orinoco. II Áreas prioritarias para la conservación y uso sostenible*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, WWF Colombia, Fundación Omacha, Fundación La Salle de Ciencias Naturales e Instituto de Estudios de la Orinoquia (Universidad Nacional de Colombia). Bogotá, D.C., Colombia. 304 pp. (2011).
- [12] Machado-Allison, A., De La Fuente R., y Mikolji, I. *Los peces del llano de Venezuela: un ensayo sobre su historia natural*. (4.ª Edición y 1.ª Edición Digital). Consejo Desarrollo Científico y Humanístico (UCV) y Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales (ACFIMAN), Caracas, 406 pp. (2020).
- [13] Bevilacqua, M. y Ochoa, J. Conservación de las últimas fronteras forestales de la Guayana venezolana: propuesta de lineamientos para la cuenca del río Caura. *Interciencia* **26**, 491-497 (2001).
- [14] Bevilacqua, M., L. Cárdenas, A. L. Flores, L. Hernández, E. Lares B., A. Mansutti R., M. Miranda, J. Ochoa G., M. Rodríguez and E. Selig. *The State of Venezuela's Forests: A Case Study of the Guayana Region. A Global Forest Watch Report*. Fundación Polar. Caracas. 132 pp. (2002).
- [15] Rosales, J. Vegetación: los bosques ribereños En: *Ecología de la cuenca del río Caura*. Rosales, J., and O. Huber (eds.). Edición Especial *Scientia Guaianae* **6**, 66-69 (1996).
- [16] Rosales, J., Bevilacqua, M., Díaz, W., Pérez, R., Rivas, D. y Caura, S. Riparian Vegetation Communities of the Caura River Basin, Bolívar State, Venezuela. En: *A Biological Assessment of the Aquatic Ecosystems of the Caura River Basin, Bolívar State, Venezuela*. Chernoff, B., Machado-Allison, A., Riseng, K. y Montambault J.R. (eds.). RAP Bulletin of Biological Assessment 28. Conservation International, Washington, DC. pp. 34-43 (2003).
- [17] Huber, O. Vegetation 1. Introduction. En: *Flora of the Venezuelan Guayana*, Vol. Berry P.E., B.K. Holst, K. Yatskievych (eds.). Saint Louis, USA: Missouri Botanical Garden and Timber Press. Pp. 97-160 (1995).
- [18] Chernoff, B., Machado-Allison, A., Risen, K. y Montambault, J. R. A Biological Assessment of the Aquatic Ecosystems of the Caura River Basin, Bolívar State, Venezuela. *Rap Bulletin of Biological Assessment* **28**, (2003).
- [19] Ferrer, A., D. Lew, C. Vispo y Daza, F. Uso de la fauna silvestre y acuática por comunidades del bajo río Caura (Guayana venezolana). *Biota Colombiana* **14** (2), 33-44 (2013).
- [20] Machado-Allison, A. y B. Chernoff. El río Caura: desde la pristinidad a su destrucción. En: Rodríguez-Olarte, D. (ed.) *Ríos en riesgo de Venezuela*. Volumen 3. Colección Recursos Hidrobiológicos de Venezuela. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela. Capítulo 1, pp. 39-56 (2020).
- [21] Bevilacqua, M., Cárdenas, L. y Medina, D. A. *Las áreas protegidas en Venezuela: diagnóstico de su condición, 1993-2004*. Edición ilustrada de Fundación Empresas Polar. (2006)
- [22] Machado-Allison, A. La minería en Guayana y sus efectos ambientales y sobre la salud humana. *Bol. Acad. Cien. Fis. Mat. y Nat.*, Vol. **LXXXV**(1), 9-30 (2015).
- [23] Machado-Allison, A. Mining in Venezuela: its effects on the environment and human health. En: Araujo, C. y Shin, C. (eds.). *Ecotoxicology in Latin America*. Section 2. Environmental risk in freshwater ecosystems. Nova Publishers, pp. 347-362 (2017).
- [24] República Bolivariana de Venezuela (RBV). Decreto N° 2248, mediante el cual se oficializó la creación de la Zona de Desarrollo Estratégico Nacional Arco Minero del Orinoco. Gaceta Oficial N° 40855, de fecha 24 de febrero de 2016.
- [25] República Bolivariana de Venezuela (RBV). Creación del Ministerio Popular para el Desarrollo Minero Ecológico. Decreto Presidencial N° 2350, publicado en Gaceta Oficial N° 40922, de fecha 09 de junio de 2016.
- [26] Álvarez, A. Creación del Observatorio de Derechos Humanos Ambientales (2022). <https://clima21.net/sin-categoria/clima21-anuncio-la-creacion-del-observatorio-venezolano-de-derechos-humanos-ambientales/>.
- [27] Kape-Kape, Asociación Civil. Comunicado: la inhumana realidad de los derechos humanos de los indígenas. (2021a). <https://kape-kape.org/2021/12/10/comunicado-la-inhumana-realidad-de-los-derechos-humanos-de-los-indigenas/>.
- [28] Kape-Kape, Asociación Civil. La minería enluta de nuevo a Comunidad Indígena "La Felicidad". Reporte 30 abril 2021. (2021b) <https://www.facebook.com/Ackapekape/photos/a.946319665544427/2006052112904505>.
- [29] Kuyujani. Organización de la cuenca del Caura Kuyujani exige el cumplimiento y preservación de los pueblos y comunidades indígenas. (2020). <https://www.civilisac.org/denuncias/organizacion-de-la-cuenca-del-caura-kuyujani-exige-el-cumplimiento-y-preservacion-de-los-pueblos-y-comunidades-indigenas>.
- [30] Red ARA. *La contaminación por mercurio en la Guayana venezolana: una propuesta de diálogo para la acción*. Red Ara y Avina (2013).
- [31] SOS ORINOCO. Varios informes sobre actividad minera, violaciones de derechos humanos, destrucción ambiental, devastación y ecocidio. El oro de sangre venezolano. (2019-2025).
- [32] Grillet, M. E., Moreno, J. E., Hernández-Villena, J. V., Llewellyn, M., Paniz-Mondolfi, A., Tami, A., Vincenti-González, M. F. et al. Venezuela's humanitarian crisis, resurgence of vector-borne diseases, and implications for spillover in the region. *The*

- Lancet Infectious Diseases* **19** (5), e149-e161 (2019). [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(18\)30757-6](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(18)30757-6).
- [33] Grillet, M. E., Moreno, J., Hernández-Vilena, J., Vicenti-González, M. F., Noya, O., Tami, A., Paniz-Mondolfi, A., Llewellyn, M., Lowe, R., Eescalante A. y Conn, J. Malaria in Southern Venezuela: The hottest hotspot in Latin America. *Plos Neglected Tropical Diseases* **15**(1), e0008211 (2021). <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0008211>.
- [34] República Bolivariana de Venezuela (RBV). Constitución de la República Bolivariana de Venezuela. Publicada en Gaceta Oficial del jueves 30 de diciembre de 1999, N° 36.860.
- [35] Organización de Naciones Unidas (ONU) *Venezuela: Informe sobre el control criminal de la región minera y sobre temas de la justicia en general* (2020). <https://www.ohchr.org/es/2020/07/venezuela-un-releases-report-criminal-control-mining-area-and-wider-justice-issues>

CRISIS Y ESPERANZA: LA CIENCIA EN VENEZUELA Y LOS DESAFÍOS DEL PRESENTE¹

CRISIS AND HOPE: SCIENCE IN VENEZUELA AND TODAY'S CHALLENGES

Benjamín Scharifker²

RESUMEN

Este artículo examina, desde una perspectiva testimonial, la práctica científica en Venezuela en medio de la profunda crisis institucional de las últimas décadas. A partir de la trayectoria de un profesor de electroquímica que fue gestor universitario, se analiza la transformación del sistema científico nacional: desde su consolidación en la segunda mitad del siglo XX, impulsada por políticas públicas, cooperación internacional y fortalecimiento universitario, hasta su deterioro reciente, marcado por la emigración masiva de talentos, la drástica reducción de recursos y la pérdida de capacidades institucionales. El texto se organiza en tres ejes: la fragilidad y resiliencia de la comunidad científica; el valor estratégico de la ciencia básica para enfrentar desafíos globales como la transición energética y la sostenibilidad ambiental; y la importancia de instituciones autónomas para el progreso científico y la formación ciudadana. Se sostiene que, en un país en crisis, hacer ciencia es también una afirmación de la dignidad humana y de la posibilidad de un futuro sustentado en el conocimiento y la búsqueda de la verdad.

ABSTRACT

This article examines, from a testimonial perspective, the practice of scientific research in Venezuela amid the profound institutional crisis of recent decades. Drawing on the experience of an electrochemistry professor and former university administrator, it analyzes the transformation of the national scientific system: from its consolidation in the late twentieth century, driven by public policies, international cooperation, and the strengthening of universities, to its recent deterioration, marked by massive talent emigration, reduced funding, and weakened institutional capacities. The text is structured around three themes: the fragility and resilience of the scientific community under adversity; the strategic importance of basic science for addressing global challenges such as the energy transition and environmental sustainability; and the role of autonomous institutions in sustaining scientific progress and responsible citizenship. It argues that the historical memory of science helps illuminate the conditions that enable or hinder knowledge production. In a country in crisis, doing science becomes both an intellectual endeavor and an affirmation of human dignity and hope.

Palabras clave: ciencia básica y sostenibilidad, transición energética, comunidad científica, autonomía universitaria, instituciones.

Keywords: basic science and sustainability, energy transition, scientific community, university autonomy, institutions.

1. Introducción

Pensar en la historia de la ciencia frente a nuestros graves problemas actuales nos interpela no como investigadores, sino como ciudadanos y como seres humanos conscientes del tiempo que nos ha tocado vivir. Por tanto, no presentamos aquí resultados de investigación, sino un testimonio desde la experiencia; una mirada que entrelaza la vida personal con el trabajo científico y la historia institucional desde la perspectiva de quien ha dedicado cinco décadas a la investigación en el

área de la electroquímica, ocupándose de temas fundamentales relacionados con procesos que tienen que ver con la energía, el hidrógeno verde, las celdas de combustible, las baterías para almacenamiento energético y el tratamiento de aguas contaminadas. Ofrezco también visiones desde la perspectiva de responsabilidades institucionales asumidas en el pasado – como miembro del Consejo Directivo del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT), como presidente de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas

1 Presentado en la Sesión de Historia oral de las *XXIII Jornadas de Historia del Pensamiento Científico* celebradas en Buenos Aires, Argentina, del 5 al 7 de noviembre de 2025. El tema central de estas jornadas fue la historia de la ciencia frente a nuestros graves problemas actuales.

2 Departamento de Química, Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela. Individuo de Número, Sillón XIV, Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales. Correo-e: benjamin@usb.ve

y Naturales, y como rector de dos universidades venezolanas, la Universidad Simón Bolívar (USB) y la Universidad Metropolitana de Caracas (UNIMET)– en un país cuya crisis profunda y prolongada ha afectado de manera dramática la posibilidad de hacer ciencia.

El enfoque aborda tres aspectos: 1) la experiencia de hacer investigación científica en medio de la crisis; 2) la convicción de que la ciencia impulsa el desarrollo sostenible y contribuye a resolver nuestros problemas actuales, y 3) la necesidad de fortalecer las instituciones y su autonomía como fundamento para el progreso científico y la formación ciudadana.

2. Hacer ciencia en tiempos de crisis

Cuando comencé mi carrera científica, Venezuela vivía un período de relativo optimismo institucional [1]. El CONICIT impulsaba la creación de laboratorios, programas de formación de investigadores y mecanismos de cooperación internacional [2]. La USB, donde obtuve grado en Química y a cuyo cuerpo académico me incorporé tras completar formación doctoral y postdoctoral, representaba un modelo de excelencia académica, innovación educativa y compromiso con el desarrollo nacional [3]. Había, en general, un ambiente de fe en el conocimiento. Aunque la ciencia seguía siendo una actividad marginal y el número de quienes se dedicaban a ella era reducido [4], formaba parte del proyecto de país.

Muchos de los profesores que contribuyeron a mi formación de pregrado en la USB venían de Argentina, Chile y Uruguay, afectados en ese tiempo por severas dificultades sociales, económicas y políticas, o de Norteamérica, Europa o Asia, atraídos por el clima de libertad y progreso que vivía Venezuela en esa época. La llegada de estos profesores venidos de otras tierras resultó fundamental para consolidar el énfasis hacia la investigación y el desarrollo de los programas académicos de la joven universidad, fundada en 1970, que se mantiene vigente hasta la actualidad.

A partir de 1980 comencé a conformar un grupo de investigación en Electroquímica, que fue fortaleciéndose con el apoyo del CONICIT y de la propia universidad, y más adelante gracias a proyectos de colaboración con la industria sobre diversos temas relacionados con la energía. A lo largo de dos décadas, nuestro grupo creció [5]. No solo en lo que respecta al número de profesores y estudiantes que formaban parte de él, o en la calidad y alcance de los equipos científicos a los cuales teníamos acceso, sino también en cuanto al impacto de nuestra labor tanto en el ámbito local como en nuestra región. Para 1999, la producción de conocimientos en electroquímica provenientes de Venezuela figuraba en el 4.º lugar latinoamericano en los índices internacionales de artículos científicos, detrás de Brasil, Argentina y México [6].

Sin embargo, en las últimas dos décadas, ese panorama cambió radicalmente. La prolongada crisis política, económica y social que atraviesa Venezuela golpeó de manera directa al sistema científico y universitario. Los presupuestos de investigación se redujeron hasta volverse simbólicos; los salarios de los profesores e investigadores se tornaron insuficientes; muchos laboratorios se vaciaron, no solo de equipos, sino, más dolorosamente, de personas. Miles de científicos, técnicos y jóvenes talentos emigraron en busca de condiciones mínimas para desarrollar su vocación [7]. Venezuela, de donde se originaban en 1999 el 4 % de los artículos científicos de Latinoamérica según los índices internacionales, produjo, en 2024, apenas el 0,64 % [6]. En 25 años, su contribución relativa a la producción de conocimientos en Latinoamérica se redujo a una sexta parte.

Seguir haciendo ciencia en ese contexto fue, y sigue siendo, un acto de resistencia. En mi caso, todavía formo parte del grupo de investigación de Electroquímica que media docena de profesores compartimos, año tras año, con una veintena de estudiantes. En la última década, poco a poco, todos ellos fueron emigrando. Continué investigando con los recursos que quedaban, estableciendo redes de colaboración con colegas de otros países, orientando a estudiantes que, a pesar de las dificultades, mantenían viva la curiosidad y la pasión por el conocimiento. Hasta que me quedé solo. La Universidad Simón Bolívar en general está hoy desolada; su población estudiantil es menos de un tercio de lo que era cinco años atrás [8]. Apenas un puñado elige a la química como disciplina de estudio.

Esta experiencia nos obliga a reflexionar sobre la fragilidad de la comunidad científica. Aun en condiciones adversas, hay científicos resilientes que persisten, sostenidos por una ética de la verdad y del servicio; que aprenden a reinventar la práctica científica, a reparar equipos, a compartir reactivos, a transformar limitaciones en creatividad. Sin embargo, la comunidad científica es frágil. Durante la segunda mitad del siglo XX, el número de personas dedicadas a la investigación científica en Venezuela creció sostenidamente: cada generación sumaba más investigadores de los que se retiraban. Esta tendencia se revirtió drásticamente a partir de los últimos 17 años y hoy nuestra comunidad científica es significativamente menor a lo que fue [4]. Los registros bibliográficos muestran que en 2010 había en Venezuela cerca de ocho mil investigadores, y que para 2024 ese número se había reducido a poco más de mil [9].

En el contexto venezolano actual, hacer ciencia, decíamos, es un acto de resistencia. Pero esa resistencia tiene límites: la ciencia, para florecer, necesita instituciones, recursos, continuidad, libertad y reconocimiento.

La historia reciente de la ciencia en Venezuela nos enseña que la destrucción institucional puede borrar en pocos años lo que costó décadas construir, y que la reconstrucción será posible solo si el conocimiento vuelve a ocupar un lugar central en el proyecto nacional.

3. Ciencia, energía y sostenibilidad

Desde el ámbito en el que trabajo –la electroquímica y la ciencia de los materiales– resulta inevitable reflexionar sobre la relación entre conocimiento científico y sostenibilidad. En las últimas décadas hemos visto cómo los grandes problemas de la humanidad –el cambio climático, la degradación ambiental, la crisis energética, la escasez de agua– exigen respuestas que integren ciencia, tecnología, ética y política.

La transición hacia fuentes limpias de energía, la descarbonización de la economía y la búsqueda de procesos industriales sostenibles no son ya aspiraciones futuras, sino condiciones de supervivencia. En nuestras investigaciones sobre procesos de conversión de energía [10], producción de hidrógeno verde [11], celdas de combustible [12,13], baterías [14] o tratamiento electroquímico de aguas residuales [15, 16], buscamos generar conocimiento fundamental que contribuya a mejorar la eficiencia de la actividad humana y reducir su impacto ambiental.

Me interesa subrayar un punto: la ciencia básica es el terreno donde germinan las soluciones tecnológicas del mañana. Sin una comprensión profunda de los procesos físicos y químicos, no hay innovación sostenible posible. A veces, en contextos de crisis, se tiende a pensar que la ciencia aplicada debe reemplazar a la ciencia básica, como si investigar los fundamentos fuera un lujo. La historia enseña, más bien, lo contrario: los avances verdaderamente transformadores –desde la electricidad hasta la biotecnología– nacieron del conocimiento desinteresado, que luego halló sus aplicaciones.

Por eso, estimular la ciencia es una forma directa de promover el desarrollo humano sostenible. No se trata solo de generar productos o patentes, sino de cultivar una cultura del pensamiento crítico, de la evidencia, del respeto por los hechos. En sociedades polarizadas, donde la desinformación y la manipulación son moneda corriente, el pensamiento científico tiene un valor moral: enseña a diferenciar entre lo que se quiere creer y lo que los datos muestran como cierto.

La ciencia, cuando se orienta al bien común, se convierte en una fuerza civilizatoria. Nos recuerda que los problemas globales –energéticos, ambientales o sanitarios– no se resolverán con discursos ni con ideologías, sino con conocimiento y cooperación.

En mi campo, la investigación sobre el hidrógeno como vector energético [17], por ejemplo, no solo busca sustituir

combustibles fósiles, sino transformar nuestra relación con la energía y con la naturaleza. Esa transformación implica una ética: comprender que el progreso técnico, sin sostenibilidad, nos lleva al retroceso.

4. Instituciones, autonomía y ciudadanía

En mi trayectoria académica tuve el privilegio –y también la responsabilidad– de desempeñar funciones de gestión universitaria y científica, como miembro del Consejo Directivo del CONICIT, institución que, en su momento, encarnó una visión moderna de la política científica venezolana, basada en la evaluación por mérito, la transparencia y la planificación a largo plazo, y también como rector de dos universidades. Estas experiencias me permitieron observar de cerca cómo las instituciones pueden sostener o destruir el espíritu científico de una sociedad.

A lo largo de esas experiencias, confirmé algo fundamental: sin instituciones fuertes y autónomas no hay ciencia posible. La investigación requiere continuidad, libertad de pensamiento y estabilidad institucional. Cuando la universidad pierde su autonomía, cuando los intereses particulares, la utilidad, el lucro o la política partidista sustituyen a la evaluación académica, cuando el mérito es reemplazado por la lealtad ideológica o sectaria, la ciencia se convierte en un territorio estéril [18].

No obstante, también comprendí que las instituciones científicas no solo generan conocimiento; forman ciudadanos. En un laboratorio se aprende a dudar, a verificar, a colaborar, a respetar la evidencia. Esas son también virtudes cívicas. Por eso, fortalecer las instituciones académicas y científicas no es un asunto corporativo: es una tarea de construcción social.

Un país que respeta a sus científicos y a sus profesores, que invierte en investigación, que defiende la libertad académica, está construyendo ciudadanía, está afirmando una cultura del diálogo racional frente a la imposición del dogma.

En la historia de América Latina, las etapas de florecimiento científico han coincidido con los períodos de mayor apertura política y cultural. No es casual: el conocimiento prospera donde hay libertad y confianza mutua. Por eso debemos insistir en que la autonomía universitaria y la independencia de los organismos de ciencia y tecnología son condiciones indispensables para que el conocimiento contribuya realmente al bien común.

5. La historia de la ciencia como memoria y esperanza

Con este recuento histórico no busco idealizar el pasado, sino darle voz a la experiencia vivida, convertir la memoria personal en fuente para comprender procesos colectivos. Desde esa perspectiva, mi testimonio –el de un investigador

que ha vivido tanto los años de esplendor como los de decadencia del sistema científico venezolano— puede entenderse como parte de una historia más amplia: la historia de cómo América Latina ha intentado, con aciertos y tropiezos, construir un pensamiento científico comprometido con su realidad y con sus necesidades.

La historia de la ciencia en nuestros países no es solo una historia de descubrimientos o de instituciones; es también una historia de resistencia intelectual. Resistir el olvido. Resistir la precariedad. Resistir, sobre todo, la tentación del desencanto.

Esa resistencia se expresa en cada experimento que se realiza pese a las carencias, en cada proyecto que se establece entre una universidad y una empresa productora de bienes y servicios, en cada estudiante que decide seguir investigando, en cada profesor que continúa enseñando aun cuando las condiciones materiales se desmoronan. Cada acto de investigación, en esas circunstancias, se convierte en una afirmación de dignidad.

Al mismo tiempo, debemos reconocer que la ciencia no está al margen de los problemas éticos y políticos de nuestro tiempo. El conocimiento puede ser utilizado para construir o para destruir. De ahí la importancia de cultivar una reflexión crítica sobre la propia práctica científica, una conciencia histórica que nos ayude a entender cómo nuestras decisiones se insertan en procesos más amplios.

La historia de la ciencia, entendida así, no es un inventario de logros pasados, sino una herramienta para pensar el presente y orientar el futuro. Nos enseña que los avances científicos son frágiles cuando no están acompañados por instituciones sólidas y por una cultura que valore la verdad por encima de la utilidad inmediata.

6. Conclusión: Ciencia como acto de esperanza

A lo largo de mi carrera he tenido la oportunidad de publicar muchos trabajos, de dirigir estudiantes, de colaborar con colegas de distintas partes del mundo. Las métricas académicas [19] muestran, sin duda, el esfuerzo y la constancia. No obstante, con el paso del tiempo uno aprende que el verdadero sentido de la labor científica no está en las cifras, sino en el impacto humano y social del conocimiento.

En un país golpeado por la crisis, continuar investigando se convierte en una forma de esperanza. Cada experimento, cada clase, cada conversación con un joven investigador es un pequeño acto de fe en el futuro [20]. Hacer ciencia en esas condiciones no solo genera resultados, produce sentido. Ese es, en última instancia, el mensaje: que la ciencia no es únicamente una actividad técnica o intelectual, sino una expresión de nuestra capacidad de imaginar y construir un mundo mejor.

Cuando apoyamos la investigación científica, cuando defendemos la autonomía universitaria, cuando enseñamos a los jóvenes a pensar críticamente, estamos contribuyendo a preservar algo esencial: la posibilidad de un futuro común basado en el conocimiento y la búsqueda permanente de la verdad.

La historia de la ciencia demuestra que allí donde se ha sabido valorar y proteger a los científicos, las sociedades han logrado superar sus crisis y renovar sus instituciones.

Frente a los problemas actuales —la crisis ambiental, la desigualdad, la desinformación— debemos reafirmar el papel de la ciencia como una fuerza de humanización. No porque tenga todas las respuestas, sino porque nos enseña a formular las preguntas correctas y a buscar respuestas con humildad, con rigor y con esperanza.

Concluyo con una reflexión de Carl Sagan [21] que expresa con claridad el espíritu de la ciencia: *En la ciencia no hay preguntas prohibidas, ni asuntos demasiado sensibles o delicados para ser investigados, ni verdades sagradas*. Esta frase sintetiza el sentido último de nuestra tarea: la búsqueda constante de la verdad siempre sujeta a revisión y a nuevas evidencias. En tiempos de crisis, buscar y defender la verdad es, sin duda, el acto más profundamente humano que podemos ejercer.

7. Agradecimientos

Expreso mi agradecimiento a la Dra. Celina Lértora Mendoza, a la Fundación para el Estudio del Pensamiento Argentino e Iberoamericano (FEPAI) y a la Dra. Yajaira Freitas por su cordial invitación a participar en las *XXIII Jornadas de Historia del Pensamiento Científico*. Asimismo, extiendo mi agradecimiento a los numerosos estudiantes que han desarrollado investigaciones en el laboratorio de Electroquímica de la Universidad Simón Bolívar, y al Lic. Michele Milo y los Dres. Jorge Mostany, Carlos Borrás, Ronald Vargas y Lorean Madriz, con quienes compartimos responsabilidades, asesorándolos y asistiéndolos.

Referencias

- [1] Requena, J., Boom and doom of scientific research in Venezuela, *Interciencia* 46, 479-486 (2021).
- [2] Avalos, I., Breve crónica de un cambio anunciado, *Revista Espacios* 20-2 (1999) <https://www.revistaespacios.com/a99v20n02/50992002.html> (Consultado el 4/11/2025).
- [3] Jurado de Baruch, M.T., *La Universidad Simón Bolívar, a través de sus símbolos*, Equinoccio, Caracas (2005).
- [4] Requena, J., Estado de ciencia y tecnología en Venezuela: actualización al año 2020, *Bol. Acad. Cien. Fis. Mat. Nat.* 82, 7-18 (2022).
- [5] Scharifker, B.R., Memoria personal del grupo de Electroquímica de la USB entre 1975 y 1999, *Revista de Ingeniería y Tecnología Educativa (RITE)* 5, 21-31 (2022).

- [6] Scimago Journal & Country Rank, <https://www.scimagojr.com> (Consultado el 4/11/2025).
- [7] Fawaz, M., Scharifker, B.R., Moraes R., M., Ibrahim, M.E., Moradi, S., Medina, E., Maziak, W., Sham, M.H., Hidalgo, C., Martínez Alíer, J., Dispatches from a world in turmoil, *Nature* **576**, 382-384 (2019).
- [8] Theis, R., Está en marcha una privatización atípica de la Educación Superior, *Analítica*, Caracas (2025) <https://www.analitica.com/actualidad/actualidad-nacional/scharifker-esta-en-marcha-una-privatizacion-atipica-de-la-educacion-superior/> (Consultado el 4/11/2025).
- [9] Lander, M., El colapso de la ciencia venezolana exige reconstruir la libertad académica y la cooperación institucional, *Analítica*, Caracas (2025) <https://www.analitica.com/seminarios-y-foros/el-colapso-de-la-ciencia-venezolana-exige-reconstruir-la-libertad-academica-y-la-cooperacion-institucional/> (Consultado el 4/11/2025).
- [10] Vargas, R., Carvajal, D., Madriz, L., Scharifker, B.R., Chemical kinetics in solar to electrochemical energy conversion: the photocatalytic oxygen transfer reaction, *Energy Reports* **6**, 2-12 (2020).
- [11] Márquez, V., Ng, E., Torres, D., Borrás, C., Scharifker, B.R., Cabrerizo, F.M., Madriz, L., Vargas, R., Electrochemical approach for hydrogen technology: Fundamental concepts and materials, in *Advances in Catalysts Research. Advances in Material Research and Technology*, Ikhmayies, S.J. (Ed.) Springer Nature, Switzerland, 339-376 (2024).
- [12] Zelenay, P., Scharifker, B.R., Bockris, J. O'M., Gervasio, D., A comparison of the properties of $\text{CF}_3\text{SO}_3\text{H}$ and H_3PO_4 in relation to fuel cells, *J. Electrochem. Soc.* **133**, 2262-2267 (1986).
- [13] Arenare, R., Borrás, C., Holmquist, V., Laredo, T., Scharifker, B.R., Celdas de combustible de óxido sólido para conversión directa de hidrocarburos, *Rev. Soc. Ven. Quím.* **26**(3), 27-36 (2003).
- [14] Scharifker, B.R., Arenare, R., Process to separate the vanadium contained in inorganic acid solutions, *U.S. Pat. No.* 7,332,141 (2008); Process to recover vanadium contained in acid solutions, *U.S. Pat. No.* 7,498,007 (2009).
- [15] Vargas, R., Borrás, C., Méndez, D., Mostany, J., Scharifker, B.R., Electrochemical oxygen transfer reactions: Electrode materials, surface processes, kinetic models, linear free energy correlations and perspectives, *J. Solid State Electrochem.* **20**, 875-893 (2016).
- [16] León, D., Maimone, A., Carvajal, D., Madriz, L., Scharifker, B.R., Cabrerizo, F.M., Vargas, R., Unraveling kinetic effects during photoelectrochemical mineralization of phenols. Rutile:Anatase TiO_2 nanotubes photoanodes in thin-layer condition, *J. Phys. Chem. C* **125**, 610-617 (2021).
- [17] Bockris, J. O'M., Veziroglu, T.N., Smith, D., *Hidrógeno solar, la energía limpia del futuro*, versión castellana, Scharifker, B. y colaboradores, Editorial Cuatro Vientos, Santiago de Chile (1994).
- [18] Jaimes Branger, C., La decadencia de la USB: ¿Por dónde empezamos a rescatarla? *El Estímulo*, Caracas (2024) <https://elestimulo.com/educacion/2024-11-18/rescatar-a-la-usb-egresados/> (Consultado el 4/11/2025).
- [19] Ioannidis, P.A., Baas, J., Klavans, R., Boyack, K.W., A standardized citation metrics author database annotated for scientific field, *PLOS Biology* **17**, e3000384 (2019).
- [20] Scharifker, B., Science struggles on in my ravaged country, *Nature* **545**, 135 (2017).
- [21] Sagan, C., *The Demon-Haunted World: Science as a Candle in the Dark*, Headline, Londres (1997) p. 34.

HELMINTHS PARASITES OF HARLEQUIN FROG (*Atelopus cruciger*) FROM VENEZUELA HELMINTOS PARÁSITOS DEL SAPITO RAYADO (*Atelopus cruciger*) DE VENEZUELA

Israel Cañizales 

ABSTRACT

The harlequin toad (*Atelopus cruciger*), endemic to Venezuela's Cordillera de la Costa, inhabits elevations from 30 to 2,000 m and persists in only two known populations. Despite the ecological importance of amphibians, helminth data for this species are scarce. This study examined 97 museum specimens collected across seven Venezuelan states between 1950 and 2009. A total of 422 helminths were identified, dominated by direct-life-cycle nematodes (*Aplectana*, *Cosmocerca*, *Oswaldocruzia*, *Rhabdias*) and the cestode *Cylindrotaenia americana*. Parasitization affected 80.41% of hosts, with nematodes comprising over 73% of the parasite burden. Aggregation coefficients and dispersion indices confirmed an aggregated distribution pattern. Prevalence and intensity varied across sex, size, and elevation, revealing ecological constraints shaping community structure. These findings expand the helminthological records for *A. cruciger* and highlight the need to integrate parasite ecology into conservation assessments of threatened amphibians.

RESUMEN

El sapito arlequín (*Atelopus cruciger*), endémico de la cordillera de la Costa venezolana, habita entre los 30 y 2000 m de altitud y sobrevive en solo dos poblaciones conocidas. A pesar de la importancia ecológica de los anuros, la información helmintológica sobre esta especie es limitada. Este estudio examinó 97 especímenes de colección recolectados en siete estados venezolanos entre 1950 y 2009. Se identificaron 422 helmintos, dominados por nematodos de ciclo de vida directo (*Aplectana*, *Cosmocerca*, *Oswaldocruzia*, *Rhabdias*) y el cestodo *Cylindrotaenia americana*. El 80,41 % de los individuos mostró parasitación, con nematodos que representan más del 73 % de la carga parasitaria. Los coeficientes de agregación e índices de dispersión confirmaron un patrón de distribución agregado. La prevalencia e intensidad variaron según sexo, talla y altitud, revelando restricciones ecológicas que modelan la estructura de la comunidad. Estos hallazgos amplían el registro helmintológico de *A. cruciger* y destacan la necesidad de integrar la parasitología en la conservación de anfibios amenazados.

Keywords: *Atelopus*, ecology, helminths, prevalence, Venezuela.

Palabras clave: *Atelopus*, ecología, helmintos, prevalencia, Venezuela.

1. Introduction

Amphibians represent valuable biological models for investigating host–parasite dynamics due to their diverse life histories, permeable skin, biphasic life cycles, and their ecological linkage across aquatic and terrestrial habitats [1]. These attributes not only make them susceptible to a wide range of parasites but also position them as ecological indicators of environmental health. Among vertebrates, amphibians host an estimated 5.49% ($n = 4,225$) of known parasitic species, underscoring their significant role in parasite ecology and evolutionary interactions [2].

Parasitic infections in amphibians, particularly by helminths, often persist without overt symptoms under optimal physiological conditions. However, the presence of co-stress-

ors such as malnutrition, extreme environmental conditions, physical trauma, or senescence can undermine host immunity, increasing susceptibility to infection and pathology [3]. Particularly, certain trematodes such as *Ribeiroia ondatrae* (Looss, 1907) and *Echinostoma trivolvis* (Cort, 1914) Kanev, 1985; have garnered attention for their ability to induce severe developmental anomalies—including limb malformations and polymelia—in amphibian larvae, particularly during critical stages of growth [4]. These cases exemplify the broader ecological and evolutionary consequences that parasitic infections can impose on wild amphibian populations.

The structure of parasite communities in amphibians is shaped by a combination of host-intrinsic traits and extrinsic environmental factors. Host characteristics such as body size,

sex, diet, behavioral ecology, and reproductive strategy all influence parasite richness, abundance, and composition [5-11]. For example, sexual dimorphism is common in anurans, with females typically exhibiting larger body sizes than males. This size disparity may provide a larger habitat or greater nutritional resources for parasites, potentially increasing parasite burden in females. However, empirical findings on this relationship remain mixed, suggesting the influence of additional ecological variables, such as parasite specificity and host immune defenses. Even under identical exposure conditions, differences in host resistance or parasite affinity may yield significantly divergent infection outcomes among individuals [12-16].

Habitat specificity and environmental context are equally critical in modulating parasite colonization success. In particular, the spatial and ecological overlap between host and parasite determines the likelihood of transmission. Elevational and climatic gradients further influence these dynamics. In temperate regions, seasonal temperature fluctuations constrain helminth transmission and development due to the ectothermic nature of amphibians, which limits their feeding activity and immune responses during colder months [1, 17, 18]. In contrast, tropical environments offer relatively stable thermal conditions that permit continuous host-parasite interactions and year-round parasite reproduction. Nevertheless, the extent to which tropical stability influences parasite community structure remains underexplored, necessitating studies that explicitly consider altitudinal variation as a proxy for ecological diversity.

Within Latin America, amphibian parasitology has expanded over the past two decades, revealing notable patterns in helminth diversity, host specificity, and geographic distribution [19-24]. Despite this progress, Venezuelan studies have been largely descriptive, with most data derived from isolated reports [25-29] or limited to two studies focused on helminth community structure in the Coastal Mountain Range [30] and the Eastern Plains [31]. These efforts provide a foundational baseline, yet they underscore the lack of systematic research on threatened and endemic species.

A case in point is the Harlequin Toad, *Atelopus cruciger* (Lichtenstein & Martens, 1856), a diurnal, primarily terres-

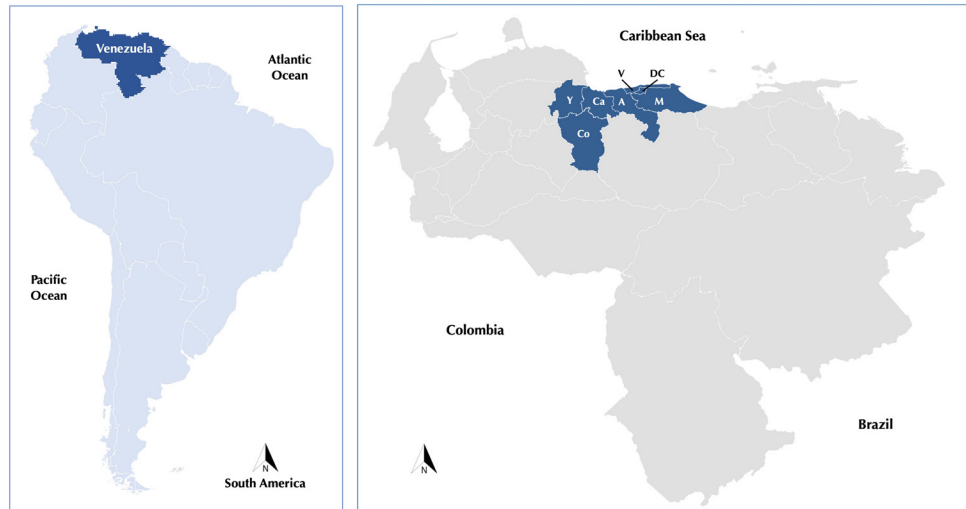


Figure 1. Relative position of Venezuela and the geographical distribution of *Atelopus cruciger*. The shaded area highlights the federal entities (states) where the species has historically been recorded, listed from west to east: Y, Yaracuy; Co, Cojedes; Ca, Carabobo; A, Aragua; V, Vargas; DC, Capital District; M, Miranda [33].

trial anuran endemic to Venezuela [32]. This species inhabits montane cloud forests, particularly rocky stream banks, from 30 to 2,000 m elevation along the Venezuelan Coastal Range [32, 33] (Figure 1). It is characterized by distinctive yellow coloration with black or brown dorsal markings—often forming an “X” on the head—smooth flanks, and long hind limbs. While males measure 28.2–34.6 mm in snout-vent length (SVL), females are considerably larger, ranging from 39.5–49.9 mm [34, 35]. Non-aggressive and territorial, *A. cruciger* occasionally perches up to 1.5 meters above ground level in nearby vegetation [32]. In recent decades, however, this species has experienced dramatic population declines attributed mainly to the emergence of chytridiomycosis, with habitat degradation playing a lesser role [36, 37].

Currently classified as Critically Endangered by the IUCN, *A. cruciger* has persisted in isolated populations within Henri Pittier National Park, prompting renewed interest in its conservation and biology [32, 38, 39]. Recent studies have focused on threats such as chytridiomycosis caused by *Batrachochytrium dendrobatidis* [40-44], but the parasitological component of its ecology remains virtually unknown. Given the susceptibility of amphibians to both environmental and parasitic stressors, understanding the parasite communities of endangered species like *A. cruciger* is critical for both conservation management and broader ecological insights.

This study seeks to address these knowledge gaps by: (a) characterizing the composition and structure of the helminth community in *A. cruciger*, (b) evaluating the relationships between parasitic burden, host body size, and sex, and (c) analyzing the distribution of helminth populations across its geographical distribution and altitudinal range.

2. Material and Methods

2.1 Specimen Collection

A total of 97 adult specimens of *Atelopus cruciger* were examined. These specimens were collected between 1950 and 2009 across seven states of Venezuela: Yaracuy, Cojedes, Carabobo, Aragua, Vargas, the Capital District, and Miranda. All specimens are deposited in the herpetological collections of the Rancho Grande Biological Station (EBRG), the La Salle Natural History Museum (MHNLS), and the Central University of Venezuela Museum of Biology (MBUCV). All examined material with information on the respective collection localities is listed in **Appendix I**.

2.1.1 Sex determination

Sex determination was initially performed by examining external secondary sexual characteristics, such as the presence or not of vocal sacs, nuptial pads on the thumbs and the relative thickening of the forearms in males [34, 45] and confirmed by direct observation of the type and degree of development of the gonads.

2.1.2 Morphometric Analysis

Snout-vent length (SVL)—defined as the linear distance from the tip of the snout to the posterior margin of the cloacal opening—was measured using stainless steel Vernier calipers with a precision of ± 0.1 mm. Each specimen was measured two to three times independently to assess measurement precision and reproducibility. The average value was used for statistical analyses.

2.2 Parasitological Examination

A full parasitological necropsy was conducted following the standardized protocol described by Díaz-Ungría [46]. This method involves dissection of the coelomic cavity and systematic inspection of the respiratory, digestive, excretory, and reproductive systems to recover endoparasitic helminths. Detailed dissection procedures are provided in **Appendix II**. All helminths were preserved in AFA (alcohol-formaldehyde-acetic acid) solution, cleared in lactophenol, and mounted in glycerin jelly for identification.

2.2.1 Helminth Identification

Helminths were morphologically identified using standard taxonomic keys and descriptions [28, 47-54], complemented by comparative analysis of traits observed under light microscopy. Diagnostic criteria included external morphology (e.g., body shape, cuticular ornamentation), internal anatomy (e.g., esophageal length, genital structures), and sexual dimorphism, as detailed in **Appendix III**. When necessary, distinctions between closely related taxa were made based on

combinations of secondary characters such as vulvar position, papillae number, and shape of the caudal extremity.

Schematic drawings of selected helminth species were redrawn and adapted from published taxonomic keys [28, 47-54] to highlight diagnostic morphological features relevant to species identification. These illustrations were produced strictly for educational and scientific purposes, with no commercial intent, and fall under the principles of fair use.

Identification was restricted to genus or species level depending on specimen condition and diagnostic resolution. All nomenclature was validated against the Integrated Taxonomic Information System (ITIS) and the Global Biodiversity Information Facility (GBIF) taxonomic databases.

Helminth infections were categorized according to necropsy findings and taxonomic identification into distinct groups based on the type of parasite recovered: **nematode infections**, **cestode infections**, **trematode infections**, and/or **mixed infections**, the latter defined as the co-occurrence of helminths from different taxonomic groups within a single host.

2.3 Geographic and Altitudinal Variation in Parasite Composition

The **geographical variation** in helminth parasite composition was analyzed based on state-level identifiers, which correspond to specific collection sites detailed in **Appendix I**. Parasite composition was quantified using both absolute counts and proportional representations relative to the total number of parasites per collection site. It is important to note that, although political boundaries were used for classification, they may not accurately reflect underlying ecological or biogeographic zones, potentially influencing patterns of parasite distribution and abundance. Parasite distribution was evaluated across **altitudinal ranges** derived from host collection site elevations. Because exact altitudes were not available for all specimens, collection sites were grouped into three altitudinal intervals (AI) based on midpoints, covering the full elevation range sampled (250–2100 masl): **AI1: 250–750 masl**, **AI2: 750–1250 masl**, and **AI3: 1250–1750 masl**. These intervals were chosen to ensure adequate sample sizes per group while capturing ecologically meaningful gradients from lowland to montane environments.

2.4 Data Analysis

2.4.1 Sex Determination and Morphometric Analysis

Sex assessments were confirmed through dissection and examination of the gonads: testes in males and vitellogenic oocytes in females. Differences in SVL between sexes were assessed using both parametric and non-parametric tests. Normality was evaluated using the Shapiro-Wilk test, and

homogeneity of variances with Levene's test. Depending on these assumptions, comparisons were made using Welch's *t*-test for unequal variances, and the Mann–Whitney *U* test was used as a non-parametric alternative [55].

2.4.2 Qualitative analysis

The qualitative analysis involved synthesizing the taxonomic composition, ecological characteristics, and novelty of the helminth community in *A. cruciger*. This included assessing the diversity of helminth taxa, their life cycle types (direct vs. indirect), infection sites within the host, and the significance of new records for the species and Venezuela. Results of the qualitative synthesis are presented in a summary table listing identified helminth species and their taxonomic classification.

2.4.3 Quantitative analysis

Quantitative parasitological descriptors encompassed both **parasite population parameters** and **community attributes**. Analyses were performed independently for male and female hosts, as well as for the combined population, whenever sample size and data distribution permitted. A significance level of $\alpha = 0.05$ was used throughout. Population parameters included **helminth infection composition (HIC)**, **parasite burden (PB)**, **abundance (A)**, **relative abundance (RA)**, **prevalence (P)**, **mean intensity (MI)**, **mean abundance (MA)** [56], **the infection index (ii)** [57], **the Morisita dispersion index (Imor)** and **the aggregation coefficient (k)** [58, 59]. Detailed descriptions of the calculation methods and their interpretation are provided in **Appendix II**.

To analyze **parasite aggregation (k)** and **overall prevalence (P)** across body size gradients, hosts were grouped into SVL size classes using Scott's rule, based on the Central Limit Theorem [55]. Five SVL size classes were defined each spanning approximately 5 mm for the combined population, and parasite counts were categorized into ranges.

Parasite community attributes—including frequency, richness, abundance, diversity, and equity—were assessed using the **Shannon**, **Simpson**, **Pielou**, and **Bulla indices**, following established quantitative ecological methods [60, 61].

To evaluate whether parasitic infection was dependent on host sex and body size category, we applied the Chi-square test (χ^2) or Fisher's exact tests, depending on low counts. This test assesses whether infection status (infected/uninfected) is significantly associated with categorical variables such as sex or SVL class [58]. To examine whether the relationship between body size and parasite burden differed by sex, we conducted separate simple linear regressions for male and female hosts. In each model, snout–vent length (SVL) was used as the predictor variable and the number of helminths as the response

variable. Comparisons of slope and correlation strength allowed assessment of sex-specific patterns in parasite accumulation [58].

The total parasite variation per state were calculated as the ratio of cestodes or nematodes to the total parasites per state, while actual numbers reflected cumulative parasite burden. A Chi-Square Test of Independence was employed to test the hypothesis of no association between parasite type (cestodes vs. nematodes) and geographic origin. Within each altitudinal intervals, prevalence (P), mean abundance (MA), and mean intensity (MI) were calculated separately for male and female hosts and for the combined population. The Kruskal-Wallis test compared mean abundance and mean intensity across intervals, with post-hoc Dunn's test if significant. Prevalence was compared using Chi-square or Fisher's exact test [56, 58].

3. Results

3.1 Sex Determination and Morphometric Analysis of *Atelopus cruciger*

Of the 97 individuals evaluated, 53 (54.64%) were males, 43 (44.33%) were females, and one could not be accurately sexed. Males had a mean SVL of 30.63 ± 3.02 mm, while females were significantly larger, with a mean SVL of 38.36 ± 5.01 mm, representing a size difference of approximately 25–29%.

The assumption of normality was satisfied for males ($p = 0.093$) and marginally met for females ($p = 0.049$), but the homogeneity of variances was violated ($p = 0.018$). Consequently, both Welch's *t*-test and the Mann–Whitney *U* test were applied. Results from both tests confirmed a highly significant difference in body size between sexes (Welch's $t = -8.66$, $p < 0.0001$; $U = 148.5$, $p < 0.0001$), demonstrating robust evidence of sexual size dimorphism, with females consistently larger than males regardless of parametric assumptions.

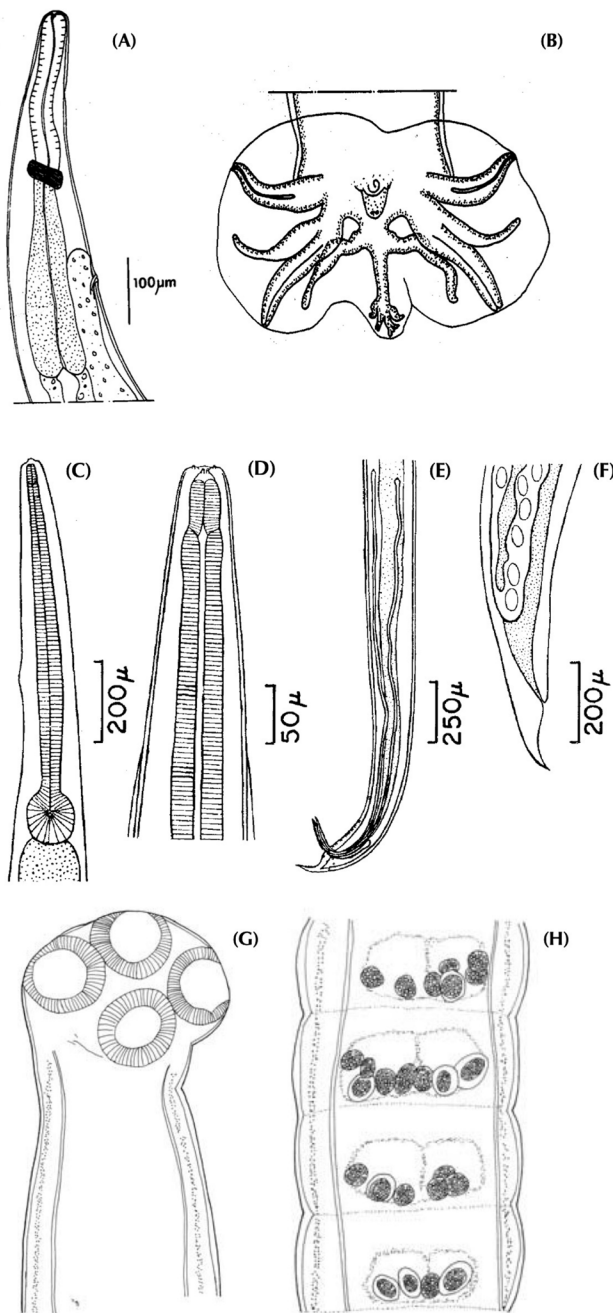
3.2 Helminth Taxonomic Composition of *Atelopus cruciger*

The helminth fauna comprised five species spanning **four families** and **two phyla**. Identified families included Nematotaeniidae (1 species), Molineidae (1 species), Rhabdiasidae (1 species), and Cosmocercidae (2 species) (**Table 1**). All identified species represent novel helminthological records for *A. cruciger* and, in certain cases, also constitute new geographic records for Venezuela.

Schematic illustrations of three helminth species identified in *A. cruciger*—*Cylindrotaenia americana*, *Oswaldocruzia venezuelensis*, and *Aplectana* sp.—are presented to highlight diagnostic morphological features (**Figure 2**). These drawings depict key traits facilitating accurate identification and illustrating morphological diversity. For a comprehensive list of diagnostic characters, see **Appendix III**.

Table 1. Parasitic helminths identified in this work.

Phylum	Class	Order	Family	Specie
Platyhelminthes	Cestoda (van Beneden, 1849)	Cyclophillydea (van Beneden, 1850)	Nematotaeniidae (Lühe, 1910)	<i>Cylindrotaenia americana</i> Jewell, 1916 = <i>Cylindrotaenia quadrijugosa</i> Lawler, 1939
Nemathelminthes	Secernentea (Linstow, 1905)	Strongylida (Diesing, 1851)	Molineidae (Skrjabin & Schulz, 1937)	<i>Oswaldocruzia venezuelensis</i> Ben Slimane, Guerrero & Durette-Desset, 1996
			Rhabdiasidae (Railliet, 1915)	<i>Rhabdias pseudosphaerocephala</i> Kuzmin, Tkach & Brooks, 2007
		Ascaridida (Chabaud, 1965)	Cosmocercidae (Railliet, 1916)	<i>Cosmocerca podicipinus</i> Baker & Vaucher, 1984
				<i>Aplectana</i> sp. Railliet & Henry, 1916



The parasite species identified in this study display a variety of biological features, including differences in life cycle type, site of infection within the host, and transmission strategies [21, 50-52, 62]. Among the five species recovered, four (80%) exhibit a confirmed direct (monoxenous) life cycle. *Rhabdias pseudosphaerocephala* is a dioecious nematode, characterized by parasitic females residing in the **lungs** and free-living males in the environment. Transmission is achieved through skin penetration of infective larvae. *Oswaldocruzia venezuelensis* resides in the **pylorus** and **duodenum**, is dioecious, with parasitic males and females, with transmission via ingestion or active penetration of infective larvae. *Cosmocerca podicipinus* inhabits the **large intestine**, is dioecious, with parasitic males and females, with penetration-based transmission. *Aplectana* sp. occupies the **rectal ampoule**, is dioecious, with parasitic males and females, and is transmitted via ingestion of infective L3 larvae.

The cestode *Cylindrotaenia americana* inhabits the **pylorus** and **duodenum** of the host and is a hermaphroditic parasite, reproducing by releasing gravid proglottids that are expelled with host feces. Although tentatively classified as having a direct (monoxenous) life cycle, evidence from this and other studies suggests that an indirect (heteroxenous) transmission route involving one or more intermediate hosts may also be plausible. As discussed further in the *Discussion* section, the

Figure 2. Schematic Illustrations of Helminth Species Identified in *A. cruciger*. (A) Anterior region of male *O. venezuelensis*, showing buccal cavity and esophageal denticles. (B) Posterior end of male *O. venezuelensis*, depicting spicules and copulatory bursa. (C, D) Anterior region of *Aplectana* sp. in lateral (C) and dorsal (D) views, highlighting oral papillae and cuticular patterns. (E) Posterior end of male *Aplectana* sp., showing gubernaculum and spicules. (F) Posterior end of female *Aplectana* sp., illustrating vulva and tail morphology. (G) Scolex of *C. americana*, showing attachment structures. (H) Gravid proglottid of *C. americana*, depicting egg-filled uterus. Illustrations adapted from taxonomic keys [28, 47-54] under fair use for non-commercial scientific purposes.

Table 2. Abundance and Relative Abundance of helminth species and Fisher's Exact Test results in *A. cruciger*. n = 78. *p < 0.05.

Species	Abundance Males (M) (n = 42)	Relative Abundance (M) %	Abundance Females (F) (n = 36)	Relative Abundance (F) %	p-value
<i>Aplectana</i> sp.	55	28.06%	81	35.84%	0.031*
<i>C. podicipinus</i>	72	36.73%	102	45.13%	0.042*
<i>C. americana</i>	57	29.08%	36	15.93%	0.066
<i>O. venezuelensis</i>	6	3.06%	3	1.33%	0.344
<i>R. pseudosphaerocephala</i>	6	3.06%	4	1.77%	0.767
Total	196	100%	226	100%	

*p < 0.05

complexity of its developmental stages and transmission pathways remains unresolved and warrants further investigation.

3.3 Parasite populations parameters

3.3.1 Helminth Infection Composition

Among the 97 *A. cruciger* individuals examined, 78 (80.41%) were found to be parasitized, while 19 (19.59%) showed no evidence of parasitism. Males constituted 43.30% (42/53) and females 37.11% (36/43). Analysis of helminth infection types revealed three major categories: nematode infections, cestode infections, and mixed infections (co-infection with nematodes and cestodes), with no other helminth groups detected. The HIC values revealed that nematode-only infections were the most common ($HIC_{nem} = 0.615$; $n_t = 48$) affecting 79.25% of males (n = 42/53) and 83.72% of females (n = 36/43), followed by mixed infections ($HIC_{mix} = 0.333$; $n_t = 26$) occurred in 22.64% of males (n = 12/53), 32.56% of females (n = 14/43) and cestode-only infections ($HIC_{ces} = 0.051$; $n_t = 4$) observed in 1.89% of males (n = 1/53), 6.98% of females (n = 3/43). A Chi-square test of independence indicated **no significant association** evidence that the type of infection (nematodes, cestodes, or mixed) is associated with host sex in this sample of *A. cruciger* ($\chi^2 = 2.79$, df = 2, $p = 0.248$).

3.3.2 Parasite burden, Abundance, Relative abundance

A total of 422 helminths were recovered from all hosts examined, representing the parasite burden for the studied population of *A. cruciger*. The most abundant taxon was *C. podicipinus* with 174 individuals and a relative abundance of 41.23%, followed closely by *Aplectana* sp. (136 individuals, 32.23%). These two nematodes together accounted for over 73% of the parasite burden, indicating their numerical dominance within the intestinal helminth community. *C. americana* contributed 93 individuals (22.04%). In contrast, *R. pseudosphaerocephala* and *O. venezuelensis* were much less abundant, representing only 2.37% and 2.13% of the total burden, respectively.

The distribution of helminth species varied between male and female hosts in both absolute counts and relative representation, as assessed using Fisher's exact test (Table 2). In females, *Cosmocerca podicipinus* was the most abundant species, accounting for 45.13% of their parasite burden, followed by *Aplectana* sp. with 35.84%. Both species **showed statistically significant** sex-related differences: *Aplectana* sp. was more frequent in females (81 vs. 55; $p = 0.031$), as was *C. podicipinus* (102 vs. 72; $p = 0.042$). In males, these same two nematodes also predominated, but in lower proportions: *C. podicipinus* represented 36.73% and *Aplectana* sp. 28.06%. The cestode *Cylindrotaenia americana*, while slightly more frequent in males (57 vs. 36), did **not differ significantly** between sexes ($p = 0.066$), though the trend suggests potential sex-biased exposure. Pulmonary and anterior intestinal nematodes, *Rhabdias pseudosphaerocephala* and *Oswaldocruzia venezuelensis*, remained rare in both sexes. Their frequencies did **not differ significantly** (6 vs. 4; $p = 0.767$ and 6 vs. 3; $p = 0.344$, respectively), likely due to the low counts reducing statistical power. These results suggest sex-linked differences in susceptibility or exposure, particularly for dominant intestinal nematodes.

3.3.3 Prevalence, Mean intensity, Mean abundance, Infection index

The parasitic helminths of *A. cruciger* exhibit significant variability in prevalence, infection intensity, and overall infection impact among the identified species. Prevalence (P%) ranged from 2.06% (*O. venezuelensis*) to 30.93% (*C. americana*). *C. americana* showed significantly higher prevalence in females (39.53%) than males (24.53%; Fisher's exact test, OR = 0.37, $n=53\sigma$, 43ϕ , $p = 0.015$), while other species showed no differences (*Aplectana* sp.: OR = 0.93, $p = 1.000$; *C. podicipinus*: OR = 1.81, $p = 0.297$; *O. venezuelensis*: OR = 0.81, $p = 1.000$; *R. pseudosphaerocephala*: OR = 1.65, $p = 1.000$). Mean intensity (MI) was highest for *C. podicipinus* (1.36 males, 1.92 females),

Table 3. Prevalence (P%), Mean Intensity (MI), Mean Abundance (MA) and Infection Index (ii) of parasitic helminths identified in *A. cruciger*. M, males; F, females; C, combined population.

Species	Prevalence (P%)			Mean Abundance (MA)			Mean Intensity (MI)			Infection Index (ii)		
	M1	F2	C3	M1	F2	C3	M	F	C	M1	F2	C3
<i>Aplectana</i> sp.	26.4	27.91	26.80	1.31	2.25	1.74	1.04	1.88	1.40	0.274	0.526	0.376
<i>C. podicipinus</i>	22.64	11.63	17.53	1.71	2.83	2.23	1.36	2.37	1.79	0.308	0.276	0.314
<i>C. americana</i>	24.53	39.53	30.93	1.36	1.00	1.19	1.08	0.84	0.96	0.264	0.331	0.297
<i>O. venezuelensis</i>	1.89	2.33	2.06	0.14	0.08	0.12	0.11	0.07	0.09	0.002	0.002	0.002
<i>R. pseudosphaerocephala</i>	3.77	2.33	3.09	0.14	0.11	0.13	0.11	0.09	0.10	0.004	0.002	0.003

P %, MA, and ii were calculated using the total number of individuals examined: males (M, n = 53), females (F, n = 43), and combined (C, n = 97; includes M + F + 1 unsexed). MI was calculated using only infected hosts: males (M, n = 42), females (F, n = 36), and combined (C, n = 78).

with a significant female bias (Mann-Whitney U = 600, $p = 0.030$) and borderline for *Aplectana* sp. (1.04 males, 1.53 females; U = 630, $p = 0.050$). Mean abundance (MA) and infection index (ii) showed no significant sex differences (*Aplectana* MA: U = 1040, $p = 0.070$; ii: U = 1030, $p = 0.060$; others: $p = 0.090$ – 1.000), though *Aplectana* trended female-biased. Low prevalence (<4%) for *O. venezuelensis* and *R. pseudosphaerocephala* limited statistical power. The **Table 3** summarize prevalence, mean intensity, mean abundance, and infection index of helminth parasites in *A. cruciger*.

3.3.4 Morisita dispersion index, Aggregation coefficient

The calculated Morisita dispersion index for *A. cruciger* (**Imor = 1.875**) indicated aggregated distributions pattern for all species, common in many parasite-host systems, which fits a negative binomial distribution. The spatial distribution of helminths between male and female hosts exhibited **Imor values > 2**, indicating a strong pattern of **sexual aggregation** in parasite load. Specifically, *O. venezuelensis* showed the highest index (**Imor = 2.29**), followed by *C. americana* (**2.10**) and *R. pseudosphaerocephala* (**2.10**). *Aplectana* sp. and *C.a podicipinus* also demonstrated aggregation, with Imor values of **2.07** and

2.06, respectively. Such aggregation may reflect sex-specific differences in susceptibility, behavior, or exposure routes.

Parasite distribution was analyzed by SVL size class to assess aggregation patterns (**Table 4**). The aggregation coefficient (k) was calculated for each class to quantify clumping, assuming a negative binomial distribution. The parasite distribution shows low to moderate loads (1–6 parasites) dominating across most size classes, with high (>10) loads rare. Males (26–32 mm) have low-moderate loads; females (38–46 mm) show variable loads, including rare high loads, possibly due to larger size.

The values of the aggregation coefficient (k), calculated across five host size classes based on body length corroborate that the parasite load tends to be concentrated in a few individuals of the host population. The aggregation coefficient k calculated ranged from 0.94 to 2.53. Values of $k > 1$ indicate an **aggregated distribution**, where parasites are disproportionately concentrated in certain hosts—a pattern observed in most classes. One class exhibited $k \approx 1$, suggesting a **random distribution**, while one class approached uniformity with $k = 0.94$. These findings confirm that the parasite population in *A. cruciger* tends to aggregate rather than distribute evenly among hosts, consistent with classical parasitological theory.

Table 4. Parasite Distribution and Aggregation Coefficient by Size Class in *A. cruciger* (n = 97).

SVL Class (mm)	n	Parasite Count					Mean	Variance	k
		0	1–3	4–6	7–10	>10			
I 23–28	17	5	5	5	2	0	3.06	6.76	2.53
II 28–34	39	7	15	7	4	6	4.23	17.10	1.39
III 34–39	27	2	10	7	3	3	4.85	29.98	0.94
IV 39–45	10	0	3	4	0	1	4.90	28.89	1.00
V 45–50	4	0	0	1	1	1	Not estimable		

n = sample size. No significant differences in parasite numbers by size class were found ($\chi^2 = 2.59$, $df = 4$, $p > 0.05$). For Class V, k is reported as “not estimable” due to the small sample size (n = 4). Although some female hosts in this class harbored between 5 and 13 helminths, such low sample sizes can artificially inflate variance and yield misleading k values, making statistical interpretation unreliable.

3.3.5 Relationship between host body size and parasite burden

Following the description of parasite population metrics across host groups, the relationship between parasite burden and snout-vent length (SVL) was explored separately for males and females.

In males, the regression slope was 0.0322 (intercept = 36.98), with an $R^2 = 0.0011$ and $p < 1.84 \times 10^{-50}$. Although the regression model detected statistical significance, the R^2 value indicates that only 0.11% of the variation in parasite burden is explained by body size, meaning that SVL has virtually no predictive power for infection level. The data were widely dispersed (burdens 0–17.5), with no observable trend or clustering, suggesting that other unmeasured ecological or physiological variables dominate the variation.

In females, the slope was 0.1227 (intercept = 1.622), with an $R^2 = 0.0121$ and $p < 2.87 \times 10^{-37}$. This also reflects a statistically significant but biologically weak association, where SVL explains only about 1.2% of the variance in parasite burden. Female data points exhibited broader dispersion, with a few individuals showing high parasite loads (up to 30) at larger SVL values (≈ 45 –50 mm), but the overall relationship remained weak, consistent with a minimal size effect (Figure 3).

Both models yielded extremely low p -values, indicating statistically significant relationships between host size (SVL) and parasite burden, albeit very weak. In males, only **0.11%** of the variation in parasite load was explained by SVL, and in females, just **1.21%**, as reflected in the low coefficients of determination (R^2). These low R^2 values reflect the high dispersion of individual data points, which is expected in field-based parasitological studies where multiple uncontrolled

factors—such as duration of exposure, number of reinfection events, individual immune status, microhabitat use, and host behavior—contribute to variation in infection intensity.

While statistical significance is clear, it does not necessarily imply biological relevance. The results suggest that **SVL is a poor predictor of parasite burden** in this system, likely due to the overriding influence of other ecological or physiological factors. This interpretation is consistent with the strongly aggregated distribution of parasites observed across hosts.

To further investigate the relationship between host size and parasite burden, particularly whether body size constrains the **maximum parasite load** a host can sustain rather than the mean, individuals were grouped into body size classes, and the maximum parasite count was extracted from each class. The regression analysis based on these maximum values revealed a **negative slope** (–17) with a higher coefficient of determination ($R^2 = 0.1993$) compared to individual-level models. This result suggests that larger hosts do not necessarily carry the highest parasite burdens, and that intermediate-sized individuals may reach peak infection levels. Although the direction of the slope is contrary to expectations, it highlights the complexity of host–parasite interactions and supports the idea that **host size alone does not linearly predict upper limits of infection** in natural populations.

3.4 Parasites community parameters

A total of five helminth species were identified, comprising both nematodes and cestodes. The relative frequencies revealed a community dominated by intestinal nematodes. *C. podicipinus* was the most frequent species, representing 41.23% of all helminths recovered, followed by *Aplectana* sp.

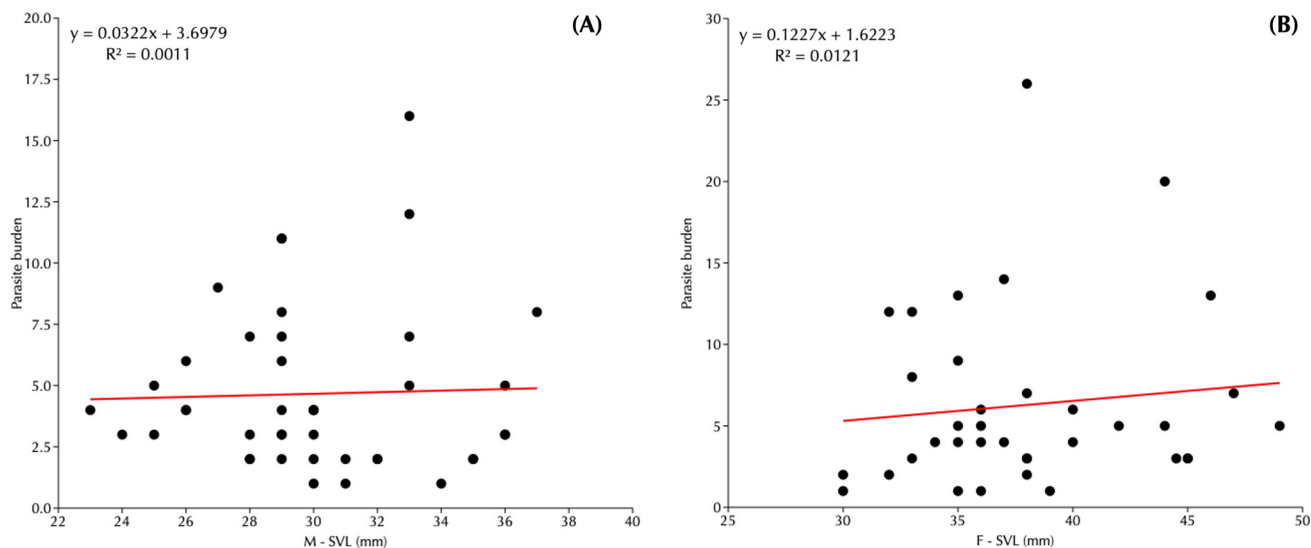


Figure 3. Scatter plots of the parasite burden with the snout–vent length (SVL) by sex of *A. cruciger*. (A) M, males; (B) F, females. The coefficients of determination R^2 , slope and intercept are reported.

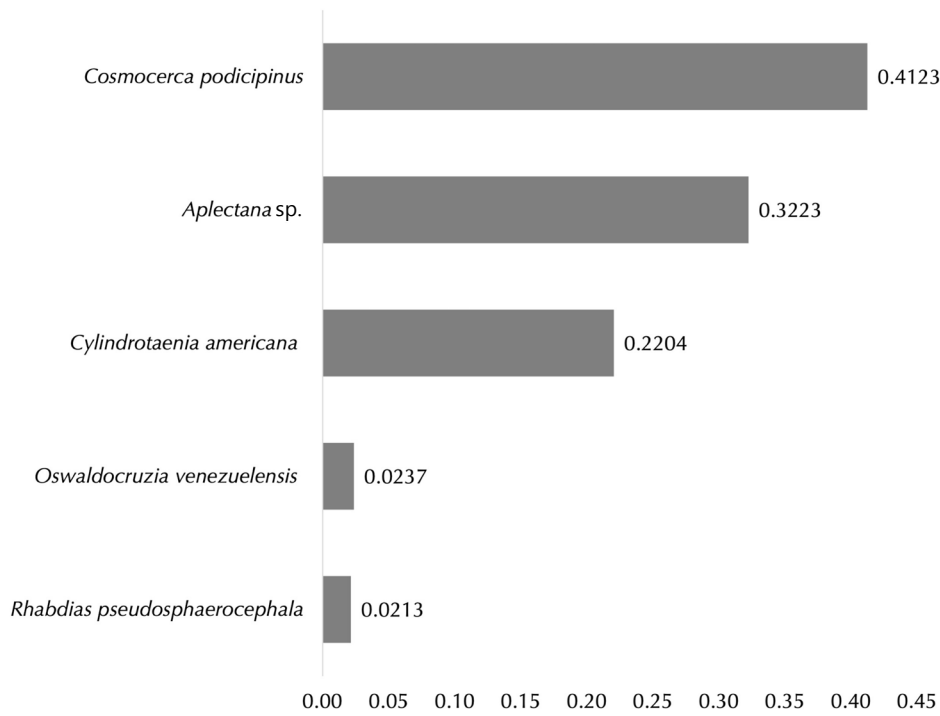


Figure 4. Frequency distribution of parasites identified in *A. cruciger*.

(32.23%). Together, these two taxa accounted for over 73% of the total parasite burden.

The frequency distribution (see chart) highlights *C. podicipinus* and *Aplectana* sp. ($F = 0.3223$, 136 parasites) and as key parasites, with *C. americana* notable for high prevalence despite lower frequency (**Figure 4**).

This distribution indicates a **numerically skewed community**, characterized by a few dominant taxa and several low-frequency species—a typical pattern in amphibian helminth assemblages, where aggregated infections and host-parasite specificity influence community structure.

Diversity and evenness metrics indicated a moderately structured helminth community in *A. cruciger*. The Shannon index ($H' = 1.234$) and Simpson index ($D_{si} = 0.678$) suggest moderate to moderately high species diversity, dominated numerically by two species. The Shannon index indicates limited diversity within the community, consistent with Margalef's criterion, which considers values below 3 bits per individual as indicative of low diversity [63]. Pielou's evenness ($J' = 0.767$) indicated a relatively balanced distribution of individuals among species, whereas Bulla's index ($E = 0.306$) revealed a noticeable departure from perfect equitability, consistent with the presence of dominant taxa (*C. podicipinus* and *Aplectana* sp.) and rare species (*Rhabdias*, *Oswaldocruzia*). Overall, the parasite community exhibits low richness, moderate diversity, and partial equitability, characteristic of aggregated parasitic systems (**Table 5**).

3.5 Geographic Variation in Parasite Composition

The distribution of helminth parasites in *A. cruciger* exhibited significant variation across site of collection. Cestode counts were highest in Carabobo (48), followed by Aragua (22), Miranda (21), Distrito Capital (1), Cojedes (1), and absent in Yaracuy (0), with corresponding frequencies of 0.571, 0.173, 0.181, 0.033, 0.017, and 0.000, respectively. Nematodes predominated, with counts of 105 in Aragua, 95 in Miranda, 57 in Cojedes, 29 in Distrito Capital, 7 in Yaracuy, and 36 in Carabobo, yielding frequencies of 0.827, 0.819, 0.983, 0.967, 1.000, and 0.429, respectively. Total parasite numbers per

state were Aragua (127), Miranda (116), Cojedes (58), Carabobo (84), Distrito Capital (30), and Yaracuy (7), consistent with the overall sample. A Chi-Square Test of Independence suggested a significant association between parasite type and state ($\chi^2 = 123.45$, $df = 5$, $p < 0.001$), with post-hoc analysis indicating Carabobo's higher cestode proportion and Yaracuy's exclusive nematodes as notable patterns. However, the broad political boundaries limited ecological inference, highlighting the need for habitat-specific data to refine these observations.

3.6 Altitudinal Distribution Analysis

Parasite population parameters varied across altitudinal ranges (**Figure 5**). Prevalence was highest at 250–750 m (82.4%), driven by male infections, while mean abundance peaked at 250–750 m (4.71) and 750–1250 m (4.33). Mean parasite abundance (MA) and mean intensity (MI) varied across altitudinal intervals and host sex. In males exhibited marked variation: MA was highest at low (AI1 = 5.36), but significantly reduced at high elevations (AI3 = 2.83). A similar pattern was observed in MI, which dropped from 6.25 in AI1 to 3.86 in AI3. Females showed higher intensity across all ranges, particularly at 750–1250 m (7.89), indicating more intense infections despite consistent parasite presence.

Table 5. Values of the Shannon, Simpson, Pielou and Bulla indices.

Shannon index (H')	Pielou (J')	Simpson index (DSi)	Bulla's index (E)
1.234	0.767	0.678	0.306

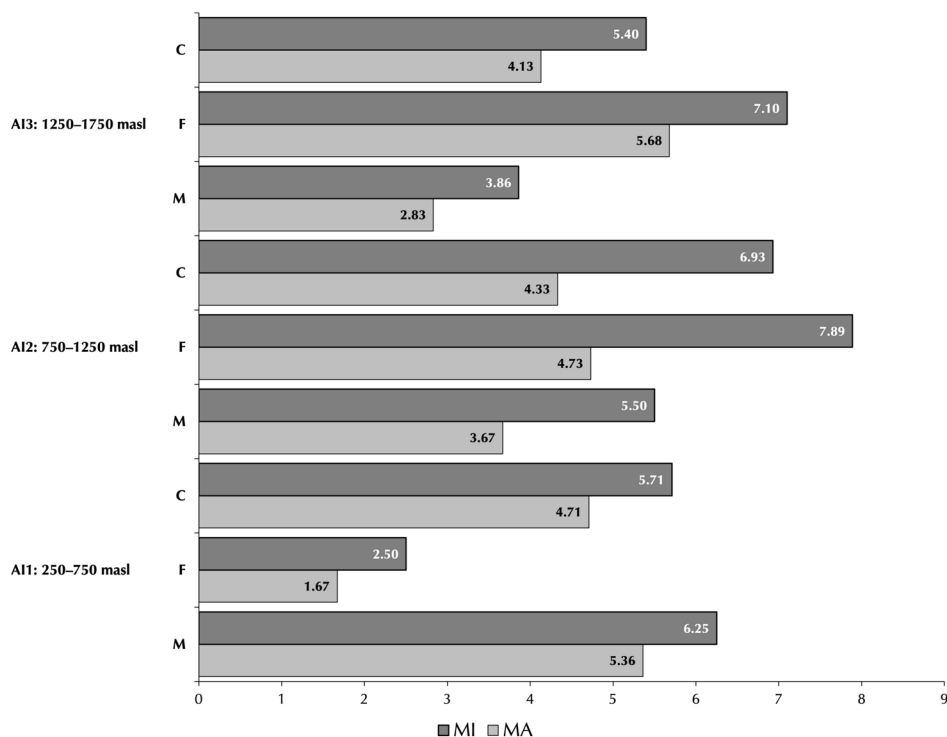


Figure 5. Mean parasite abundance (MA) and mean intensity (MI) in *A. cruciger* across three altitudinal intervals (AI). M, Males; F, Females; C, Combined. masl, meter above sea level.

Kruskal–Wallis tests confirmed that mean parasite abundance (MA) varied significantly across altitudinal ranges in both sexes. For males, the test yielded $H = 12.30$ ($p = 0.0021$), and for females, $H = 12.57$ ($p = 0.0019$). Kruskal–Wallis tests applied to mean intensity (MI) values across altitudinal bands revealed statistically significant differences for both males ($H = 12.30$, $p = 0.0021$) and females ($H = 12.59$, $p = 0.0018$). In males, intensity dropped markedly at mid elevations (AI3), whereas females exhibited a peak at AI2. These patterns suggest that the impact of elevation on helminth intensity may be sex-specific, possibly reflecting differences in behavior, physiology, or exposure dynamics.

4. Discussion

This study represents the first comprehensive parasitological assessment of *Atelopus cruciger*. The dataset, comprising 97 individuals collected over nearly six decades from seven Venezuelan federal states, provides novel records for the species. These findings significantly enrich Venezuela's biodiversity inventory and establish a crucial baseline for conservation-focused parasitological research.

The helminth community includes five species: four nematodes—*Aplectana* sp., *Cosmocerca podicipinus*, *Rhabdias pseudosphaerocephala*, and *Oswaldocruzia venezuelensis*—which together constitute 77.96% of the parasite assemblage, and one cestode, *Cylindrotaenia americana*, accounting for

22.04%. The species' terrestrial habits, including diurnal activity and frequent soil contact, increase its exposure to nematodes with direct life cycles. This ecological trait aligns with the observed infection rate: 80.41% of individuals were parasitized. These results corroborate previous findings that terrestrial amphibians, especially bufonids, are predominantly infected by nematodes with direct transmission cycles [6, 10, 17, 20, 64–71].

The dominance of *C. podicipinus* can be attributed to its mode of transmission via skin penetration followed by pulmonary migration [52]. This nematode is known for its high prevalence in Neotropical anurans, particularly those inhabiting terrestrial and semi-terrestrial environments [8, 22, 23, 72–82].

Additionally, at least 23 species of *Aplectana* have been reported from a variety of Neotropical hosts [83, 84].

The cestode *Cylindrotaenia americana* has been reported in at least 45 anuran species across South America [8, 29–31, 85–91]. Although originally proposed to have a direct life cycle [92–95], more recent evidence—considering geographic variation and host dietary patterns—supports the likelihood of a heteroxenous life cycle involving arthropod intermediates [96–98]. In the present study, *C. americana* exhibited a strikingly uneven distribution, with a high prevalence in Carabobo (57.1%) and near absence in Yaracuy (0%), Distrito Capital (1%), and Cojedes (1%). Specifically, in the Cojedes population, where orthopterans dominate the anuran diet [98] *C. americana* represented only 1.7% of the total helminth community. This low prevalence suggests ecological or dietary constraints limiting transmission in that locality. Indeed, it is well established that various arthropod taxa, particularly mites, act as intermediate hosts in the life cycles of cyclophyllidean cestodes [46], which may be absent or scarce in these host diets.

The parasitological analysis of *A. cruciger* revealed a helminth community with characteristics typical of terrestrial anuran hosts—low species richness, strong dominance by a few taxa, and aggregated distributions across individuals. This high prevalence aligns with patterns observed in other tropical bufonid species that exhibit terrestrial lifestyles where exposure to infective stages via moist substrates facilitates infections by parasites with direct life cycles [1, 6, 10, 17, 20].

However, the lack of a clear sex-based differentiation in infection types (e.g., no significant association between sex and parasite species composition) diverges from findings in species like *Bufo americanus*, where male-biased parasitism has been linked to behavioral promiscuity [17]. This contrast suggests that *A. cruciger*'s ecology may mitigate sexual selection pressures on parasite acquisition, potentially due to its restricted habitat range or uniform exposure across sexes. The high representation of intestinal nematodes is comparable to that described for *Rhinella icterica* [99], reinforces the role of direct life cycles, yet the notable presence of a cestode challenges the typical nematode-centric description, inferring at a dietary or microhabitat influence like that observed by Goldberg *et al.* [64–68] in other anurans. The aggregated distribution of parasites, consistent with models of overdispersion, contrasts with studies like Iannacone [20], which found less clumping in *Atelopus bomolochos*, possibly reflecting differences in host population density or environmental stability.

The ecological niche of *Atelopus cruciger* as a diurnal, terrestrial anuran appears to shape a helminth community adapted to its lifestyle, with implications for both host fitness and parasite persistence. The prevalence of infections suggests a transmission environment robust enough to sustain a diverse parasite assemblage, likely supported by the species' frequent soil interaction, which favors nematodes with direct life cycles. The functional role of these parasites may extend beyond mere pathogenicity, potentially influencing host behavior or immunity, as intestinal nematodes could modulate digestion or nutrient absorption—a hypothesis supported by their numerical dominance. The presence of a cestode, reliant on intermediate hosts, implies a dietary component—possibly mites or small invertebrates—that introduces a secondary transmission pathway, enriching the community's ecological complexity. The observed sex-specific biases in parasite abundances (e.g., higher abundances of dominant intestinal nematodes in females) suggest functional differences in exposure dynamics between males and females. Although both sexes exhibit strong reproductive site fidelity, females spend considerably more time in the surrounding forest away from the stream, tend to be more sedentary, and move over smaller spatial scales than males [100]. These behavioral patterns may increase their cumulative contact with soil substrates and microhabitats harboring infective nematode larvae, thereby elevating exposure risk. Consequently, the higher abundances recorded for dominant intestinal nematodes in females are more plausibly linked to differential habitat use and reduced mobility rather than to body size or reproductive site fidelity alone. This interpretation aligns with the idea that parasite loads reflect not just exposure but also host life-history strategies, challenging the assumption that larger size or

sedentarism universally increases infection risk. The aggregated distribution further suggests that a subset of hosts acts as key reservoirs, possibly those in optimal microhabitats—a dynamic that could stabilize the parasite population amidst the species' endangered status. This ecological interplay underscores a community adapted to the host's terrestrial niche, where functional roles may enhance resilience against environmental stressors.

The findings in *Atelopus cruciger* engage directly with core principles of parasitological theory, particularly those concerning host-parasite co-evolution and community structure. The lack of a significant sex-infection type association challenges the hypothesis that sexual dimorphism drives differential parasitism, which expect sex-biased exposure based on behavior or immunity [101, 102]. Instead, the data support a model in which environmental transmission dominates, aligning with the theory on habitat as a primary determinant of parasite diversity [1, 14, 69]. The aggregated distribution, fitting a negative binomial model, reinforces argument that overdispersion reflects host heterogeneity rather than uniform susceptibility, suggesting that immune or behavioral variation among individuals' shapes parasite loads. The observed moderate diversity and uneven species composition align with Margalef's [63] criterion for low-diversity systems, where ecological constraints—such as habitat specificity or transmission limitations—favor the dominance of a few well-adapted taxa. In such communities, stability may be maintained by these dominant species; however, the presence of rare, low-frequency parasites introduces a potential vulnerability. This scenario supports the hypothesis that host population declines can lead to the local extinction of specialist or less abundant parasites, which are more sensitive to reductions in host density or environmental change [103]. Although most *A. cruciger* specimens included in this study were collected before the late-1980s chytridiomycosis-associated population collapse, the dataset also includes individuals from 2004, 2005, and 2009. Despite their limited number, these more recent hosts exhibited helminth assemblages consistent with historical patterns, with no evidence of community restructuring—apart from a single uninfected female collected in 2005. Because post-decline specimens mirror the parasitic composition of earlier decades, no formal temporal comparisons were performed, as the available data do not support a meaningful decade-level analysis. Nevertheless, additional sampling from extant remnant populations would be essential to determine whether subtle erosion of parasite diversity has occurred following the demographic bottleneck, **particularly considering potential synergies with chytrid infections** [104]. The absence of a size effect on parasite burden, consistent with Luque *et al.* [99], but contrasting with the patterns reported by Bolek and Coggins

[17, 18], further complicates size-based models of infection. These results suggest that physiological or microhabitat variables may override morphological predictors, a hypothesis that could be evaluated through immunological profiling or fine-scale spatial approaches.

The observed community aligns more closely with what Aho [1] termed “isolationist” parasitic assemblages, where few species dominate due to reduced colonization opportunities and low interspecific competition [101, 102]. This contrasts with the “interactive” communities seen in more gregarious or aquatic amphibians, which encounter a wider array of infective stages through multiple trophic pathways. Nevertheless, the dominance of *Cosmocerca podicipinus* and *Aplectana* sp. in *A. cruciger*—both nematodes with flexible, environmentally robust life cycles—suggests that even under isolationist constraints, selective pressures can drive intense colonization success for a few well-adapted taxa.

The analysis of parasite aggregation patterns supports the classical ecological expectation of overdispersed distributions. Most helminths were concentrated in a minority of hosts, while the majority harbored few or no parasites. This skewed distribution is common across vertebrates and reflects heterogeneity in susceptibility, exposure, and behavioral traits [1, 105–107]. The aggregation coefficient (k) and Morisita index confirmed this pattern, reinforcing the notion that parasite transmission is not uniformly distributed but structured by complex host–parasite dynamics. Particularly striking is the finding that rare parasites such as *Oswaldocruzia venezuelensis* exhibited the highest levels of aggregation—underscoring the role of chance colonization and potentially strong individual-level variability in resistance or exposure.

Diversity indices further illuminate the structure of the helminth community. The moderate Shannon and Simpson values point to low richness but relatively balanced dominance between the two leading taxa. However, the low Bulla index and dominance by two nematodes suggest an unstable equilibrium, where any shift in host ecology or parasite transmission could restructure the community. These metrics, when viewed together, reflect a system where parasite colonization is tightly constrained, likely regulated by the host’s behavior, niche, and microenvironmental stability rather than by interspecific interactions among parasites [1, 101, 108].

The composition and structure of the helminth community in *A. cruciger* reiterate broader ecological principles governing host–parasite systems: namely, that diversity is not synonymous with complexity, and that host biology often filters the potential richness of parasite assemblages. The dominance of generalist, direct-transmission nematodes, coupled with limited variation across host traits and geography, supports a

model of stability rooted in ecological constraint rather than dynamic turnover. However, the aggregated nature of infections and occasional sex-specific differences imply that individual-level traits and behaviors remain crucial determinants of infection risk.

Host size, measured via snout–vent length (SVL), did not emerge as a significant predictor of parasite burden in *Atelopus cruciger*, posing a nuanced challenge to established paradigms in amphibian parasitology. Although sexual dimorphism was confirmed—females (39.5–49.9 mm) being significantly larger than males (28.2–34.6 mm) [34, 35]—our findings contradict the widely held expectation that larger individuals harbor higher parasite loads [7, 10, 13, 16, 109, 110]. No significant associations were detected between SVL and parasite abundance, intensity, or species richness.

Regression analyses revealed negligible linear relationships between SVL and parasitological parameters for both sexes, with coefficients of determination (R^2) of 0.001979 for males and 0.0121 for females, indicating minimal explanatory power. Moreover, no statistically significant differences in overall parasite burden were observed between males (range: 0–17.5 parasites; SVL: 22–40 mm) and females (range: 0–30 parasites; SVL: 30–50 mm), although certain species such as *Aplectana* sp. exhibited a mild female-biased prevalence. Regarding this sex bias, Joy and Bunten [111] and Bolek and Coggins [18] did not find a preference for cosmocercidae by a specific sex in their studies of anurans, as did Santos and Amato [112] with *C. parva* and *R. fernandezae*.

However, our results contrast with the common expectation that larger hosts would exhibit higher infection levels due to increased surface area for larval penetration or greater food intake. In *A. cruciger*, body size showed no significant relationship with parasite burden, as indicated by the scattered data distribution and the low explanatory power of regression models. Nevertheless, females tended to exhibit higher infection levels, a pattern that may be linked not to size but to behavioral differences. Female *A. cruciger* are generally more sedentary and exhibit stronger site fidelity during breeding [100], which could increase exposure to infective stages present in the substrate. Thus, although size did not predict infection intensity, behavioral ecology may explain the observed sex-related variation in parasitism.

This pattern aligns with several comparative studies, enhancing its robustness within the context of amphibian parasitology. For instance, Iannacone [20] reported no significant correlation between SVL and parasite prevalence, richness, or intensity in *Atelopus bomolochos*, despite analyzing a substantial dataset of 13,268 parasites across 33 individuals, while Luque *et al.* [99] observed similar results

in *Rhinella icterica*. These findings are echoed in studies on *Leptodactylus latinasus* and *Pseudopaludicola falcipes*, where González and Hamann [72, 78] and Hamann *et al.* [22, 23] suggesting that body size may be a weak predictor of parasitism in terrestrial amphibians.

In contrast, Bolek and Coggins [17, 18] documented a significant correlation between mean cosmocercid intensity and host size in North American anurans, attributing this to an increased contact surface facilitating larval penetration—a mechanism potentially modulated by host behavior or integument thickness. The divergence between these findings and our results may reflect species-specific immunological responses or ecological adaptations in *A. cruciger*. For example, territorial males, exhibiting greater activity, might reduce exposure variability, while females' larger size could be offset by enhanced immune function, as suggested by Barton [113], who noted that infection levels in larger anurans may stabilize or decrease due to immune regulation or intraspecific competition. This hypothesis is supported by observations that larger males in some species exhibit higher parasite richness due to declining immune efficacy [102, 114]—a trend not replicated here, possibly due to *A. cruciger*'s unique behavioral or physiological profile.

The absence of a size-parasite burden relationship invites a deeper examination of alternative drivers, grounded in the ecological and physiological context of the species. Host immunity, potentially influenced by sex-specific hormonal profiles or life-history trade-offs, could play a pivotal role. The scattered distribution of parasite burdens across SVL ranges further supports the hypothesis that morphological traits alone are insufficient predictors, necessitating a multivariate approach that incorporates these factors. This perspective is reinforced by the moderate diversity and clumped distribution observed in the broader community, suggesting that parasite aggregation may be driven by host-specific microenvironments rather than size-related susceptibility.

Geographic variation in the helminth community of *A. cruciger* suggests that local environmental conditions, habitat structure, and host ecology jointly modulate the relative success of nematodes and cestodes across the species' range. The marked differences among states are consistent with patterns reported for other terrestrial anurans, where soil characteristics, forest integrity, and the availability of intermediate hosts strongly influence parasite assemblages [1, 69, 115]. Regions dominated by nematodes likely reflect environments where direct life cycle transmission is favored—such as moist substrates, high contact rates with the leaf litter, and limited trophic pathways. In contrast, areas where cestodes are proportionally more frequent may correspond to microhabitats

offering richer or more diverse intermediate host communities (e.g., mites, beetles), or dietary shifts in the local amphibian population.

These geographic differences may also mirror historical or ecological fragmentation within *A. cruciger* populations. Local declines, changes in prey availability, or microclimatic differences across cloud forest remnants could have altered transmission opportunities differently across sites. Such spatial heterogeneity aligns with theoretical expectations that helminth communities in declining or patchy amphibian populations become increasingly uneven, with some parasite taxa persisting only where environmental conditions remain favorable.

These findings reinforce the idea that parasite community composition in *A. cruciger* is not uniform across its range and instead reflects underlying variation in environmental conditions, host diet, microhabitat use, and potentially host population structure. However, an important caveat must be acknowledged: the use of broad geopolitical units (i.e., states) as proxies for ecological regions imposes limitations on the interpretation of distributional patterns. Political boundaries rarely align with ecological gradients, and habitat heterogeneity within a single state can be considerable. Therefore, while the Chi-square analysis offers robust statistical evidence of regional differences in parasite composition, ecological inferences should be tempered until more fine-scale data (e.g., vegetation type, soil structure, invertebrate community, and microclimate) are available.

Helminth infection parameters varied significantly across altitudinal range intervals, highlighting a complex interplay between elevation, host sex, and parasitic exposure. Rather than a uniform response to elevation, males and females appear to differ in how temperature, humidity, and microhabitat stability shape their exposure and susceptibility. At lower elevations—typically warmer and more humid—the ecological context likely enhances survival of free-living infective stages, particularly for nematodes with direct life cycles, increasing encounter rates for both sexes [1, 6, 17, 20]. Yet, the contrasting patterns between males and females along the gradient indicate that behavioral ecology modulates this environmental effect. Males, which tend to be more mobile and engage in calling activity, may experience fluctuating exposure as elevation changes, while females—generally more sedentary and exhibiting stronger site fidelity—may experience more consistent but environmentally mediated infection pressure. This altitudinal decline in parasitic metrics among males may reflect reduced activity levels, lower contact with infective substrates, or physiological constraints associated with cooler, more variable montane climates. These results align with established patterns in ectothermic hosts, where cooler environments limit parasite

recruitment and development due to reduced host metabolic and feeding rates [1, 17, 18].

Females, by contrast, displayed a different response: their infections intensified at mid-elevations rather than simply decreasing or increasing along the gradient. Such sex-specific divergence may stem from behavioral differences (e.g., differential substrate use, microhabitat preferences), reproductive status, or immune investment trade-offs [10, 13, 101, 114]. The elevated infection intensity observed in mid-elevation females may be linked to reproductive effort and hormonal cycles that transiently reduce immune efficacy, a phenomenon documented in amphibians and other vertebrates [116, 117]. During the reproductive season, elevated concentrations of estrogen and progesterone can modulate immune responses, particularly by downregulating cell-mediated immunity, thereby increasing susceptibility to parasitic infections [116]. In *Atelopus cruciger*, females exhibit strong site fidelity to breeding areas [100], which, combined with prolonged reproductive activity, may enhance repeated exposure to infective stages accumulated in these microhabitats.

Conversely, the decline in parasite intensity among males at higher elevations may be associated with environmental constraints that limit parasite viability and transmission. At cooler, high-altitude sites, the development and survival of free-living larval stages of nematodes are reduced [118, 119], resulting in fewer successful infections. Moreover, temperature-dependent metabolic suppression in ectothermic hosts can decrease feeding and movement rates, indirectly reducing exposure to infective stages [17, 18, 120]. Thus, the contrasting altitudinal trends between sexes likely reflect an interaction between host physiology, reproductive behavior, and environmental filtering of parasite life cycles.

Importantly, these results align with broader ecological principles. Altitude affects multiple environmental parameters—temperature, humidity, vegetation structure—that collectively influence the life cycles of parasites and the ecology of their hosts [12-16]. In tropical montane systems, such gradients are particularly steep, and even modest shifts in elevation can lead to pronounced ecological transitions. Given that most helminths identified in this study (e.g., *Cosmocerca podicipinus*, *Aplectana* sp.) rely on moist environments for larval development and transmission, altitudinal differences in microclimate likely play a key role [22, 52, 72].

In conclusion, the parasite burden in *A. cruciger* is strongly structured by altitude, but with sex-specific signatures that highlight the need to consider host biology in parasitological studies [1, 5-11]. The integration of microclimatic and behavioral data would offer further resolution to these patterns, potentially aiding in conservation efforts by identifying elevation zones with elevated parasitic risk. Future research

should explore whether these altitudinal patterns remain stable over time and how they interact with climatic changes, which are expected to shift the distribution and dynamics of parasite-host systems in tropical montane forests [1, 106, 107].

The helminth community of *A. cruciger* demonstrates that low richness does not equate to ecological insignificance. The dominance of a few well-adapted taxa, aggregated infections, and spatial or sex-specific patterns point to a system in equilibrium—one potentially vulnerable to disturbance. As an endangered species, *A. cruciger* faces threats from habitat loss, pollution, and disease. Parasites may exacerbate these pressures or serve as indicators of population health. Monitoring their presence, load, and distribution thus becomes critical—not merely for cataloging biodiversity, but for understanding and mitigating extinction risk.

Finally, the patterns observed in *A. cruciger* challenge traditional assumptions in parasitological theory. The absence of a clear size effect, the modest sex bias, and the prominence of environmental over morphological predictors all argue for a more nuanced, ecologically integrated approach. Rather than being defined solely by host traits, parasite community dynamics in this system appear to emerge from the intersection of host behavior, environmental context, and life-history constraints—a model that may apply broadly across threatened amphibians in tropical ecosystems.

Acknowledgements

To the Rancho Grande Biological Station, to the La Salle Museum of Natural History and to the Museum of Biology of the Central University of Venezuela for facilitating access to the material. To the NGO Provita for funding the work through the Endangered Species Initiative. To César Molina (†), María Eugenia Grillet and Ricardo Guerrero.

References

- [1] Aho, J. M. Helminth communities of amphibians and reptiles: comparative approaches to understanding patterns and processes. En: Parasites Communities: Patterns & Processes, Esch, G. W., Bush, A. O. and Aho, J. M. (Chapman Hall, 1990) Cap. 7, pp. 157-195.
- [2] Dobson, A., Lafferty, K. D., Kuris, A. M., Hechinger, R.F. and Jetz, W. Homage to Linnaeus: How many parasites? How many hosts? *PNAS* **105**(1):11482-11489 (2008).
- [3] Cañizales, I. and Guerrero R. (2010). *Parásitos y otras enfermedades transmisibles de mamíferos cinegéticos*. En: Machado-Allison, A. (ed.) Investigación y Manejo de Fauna Silvestre en Venezuela. (Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, 2010) pp. 97-108.
- [4] Szuroczy, D., and Richardson, J.M.L. The role of trematode parasites in larval anuran communities: an aquatic ecologist's guide to the major players. *Oecology*. **161**, 371–385 (2009).

- [5] Yoder, H. R. and Coggins, J. R. Helminth communities in the northern spring peeper, *Pseudacris c. crucifer* Wied, and the wood frog, *Rana sylvatica* Le Conte, from southeastern Wisconsin. *Journal of the Helminthological Society of Washington* **63**, 211–214 (1996).
- [6] Yoder, H. R. and Coggins, J. R. Helminth Communities in Five Species of Sympatric Amphibians from three adjacent ephemeral ponds in Southeastern Wisconsin. *Journal of Parasitology* **93**(4), 755–760 (2007).
- [7] McAlpine, D. F. Helminth communities in bullfrogs (*Rana catesbeiana*), green frogs (*Rana clamitans*), and leopard frogs (*Rana pipiens*) from New Brunswick, Canada. *Canadian Journal of Zoology* **75**, 1883–1890 (1997).
- [8] Bursey, C.R., Goldberg S.R. and Parmalee, J.R. Gastrointestinal helminths of 51 species of anurans from Reserva Cuzco Amazonico, Peru. *Comparative Parasitology* **68**, 21–35 (2001).
- [9] Goldberg, S.R. and Bursey, C.R. Helminth Parasites of Seven Anuran Species from Northwestern Mexico. *Western North American Naturalist* **62**(2), 160–169 (2002).
- [10] Bolek, M. G. and Coggins, J. R. Helminth Community Structure of Sympatric Eastern American Toad, *Bufo americanus americanus*, Northern Leopard Frog, *Rana pipiens*, and Blue-Spotted Salamander, *Ambystoma laterale*, from Southeastern Wisconsin. *Journal of Parasitology* **89**(4), 673–680 (2003).
- [11] King, K. C. et al. Short-Term Seasonal Changes in Parasite Community Structure in Northern Leopard Froglets (*Rana pipiens*) inhabiting Agricultural Wetlands. *Journal of Parasitology* **94**(1), 13–22 (2008).
- [12] McAlpine, D. F. and Burt, M. D. B. Helminths of bullfrogs, *Rana catesbeiana*, green frogs, *R. clamitans*, and leopard frogs, *R. pipiens* in New Brunswick. *Canadian Field Naturalist* **112**, 50–68 (1998).
- [13] Kehr, A., Manly, B. F. and Hamann, M. Coexistence of helminth species in *Lysapsus limellus* (Anura: Pseudidae) from an Argentinean subtropical area: influence of biotic and abiotic factors. *Ecology* **125**(4), 549–558 (2000).
- [14] Zelmer, D. A., Wetzel, E. J. and Esch, G. W. The role of habitat in structuring *Halipegus occidualis* metapopulations in the green frog. *Journal of Parasitology* **85**, 19–24 (1999).
- [15] Zelmer, D. A., Paredes-Calderón, L., León-Règagnon, V. and García-Prieto, L. Nestedness in colonization-dominated systems: helminth infracommunities of *Rana vaillanti* Brocchi (Anura: Ranidae) in Los Tuxtlas, Veracruz, Mexico. *Journal of Parasitology* **90**, 705–710 (2004).
- [16] Muzzall, P. M., Gilliland III, M. G., Summer, C. S. and Mehne, C. J. Helminth Communities of Green Frogs *Rana clamitans* Latreille, from Southwestern Michigan. *Journal of Parasitology* **87**(5), 962–968 (2001).
- [17] Bolek, M. G. and Coggins J. R. Seasonal occurrence and community structure of helminth parasites from the Eastern American toad, *Bufo americanus americanus*, from southeastern Wisconsin, U.S.A. *Comparative Parasitology* **67**, 202–209 (2000).
- [18] Bolek, M. G. and Coggins J. R. Seasonal and Community Structure of Helminth Parasites in Green Frogs, *Rana clamitans melanota*, from Southeastern Wisconsin. *Comparative Parasitology* **68**(2), 164–172 (2001).
- [19] Mata-López, R., García-Prieto, L. and León-Règagnon, V. Infracommunities of parasitic helminths of *Ambystoma lermaensis* (Caudata: Ambystomatidae) in Lerma, Mexico. *Journal of Tropical Biology* **50**(1), 303–307 (2002).
- [20] Iannacone, J. Helminths Parasites of *Atelopus bomolochus* Peters 1973 (Anura: Bufonidae) from Piura, Peru. *Gayana* **67**(1), 9–15 (2003).
- [21] Paredes-Calderón, L., León-Regagnon, V. and García-Prieto, L. Helminth Infracommunities of *Rana vaillanti* Brocchi (Anura: Ranidae) in Los Tuxtlas, Veracruz, Mexico. *Journal of Parasitology* **90**(4), 692–696 (2004).
- [22] Hamann, M. I., Kehr, A. I. and González, C. E. Species Affinity and Infracommunity Ordination of Helminths of *Leptodactylus chaquensis* (Anura: Leptodactylidae) in two contrasting Environments from Northeastern Argentina. *Journal of Parasitology* **92**(6), 1171–1179 (2006).
- [23] Hamann, M. I., González, C.E. and Kehr, A.I. Helminth Community Structure of the Oven Frog *Leptodactylus latinasus* (Anura, Leptodactylidae) from Corrientes, Argentina. *Acta Parasitologica* **51**(4), 294–299 (2006).
- [24] Tavares dos Santos, V. G., Borges-Martins, M. and Amato, S.B. Community Structure of Parasites of the Tree Frog *Scinax fuscovarius* (Anura, Hylidae) from Campo Belo do Sul, Santa Catarina, Brazil. *Neotropical Helminthology* **10**(1), 41–50 (2016).
- [25] Caballero y Caballero, E. and Díaz-Ungría, C. Intento de catalogar los Trematodos Digénicos registrados en territorio venezolano. *Memoria de la Sociedad Salle de Ciencias Naturales* **18**(49), 19–36 (1958).
- [26] Díaz-Ungría, C. Identificación de una colección de parásitos de vertebrados venezolanos. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales* **27**(113-114), 525–536 (1968).
- [27] Díaz-Ungría, C. Helmintos endoparásitos de Venezuela. *Ciencias Veterinarias* **3**(1-2), 37–243 (1973).
- [28] Guerrero, R. Helmintos de la Hacienda “El Limón” D.F. Venezuela. Nematodos Vertebrados I. *Memoria de la Sociedad de Ciencias Naturales*, **31**(89), 175–230 (1971).
- [29] Cañizales, I. Helmintos endoparásitos en anuros de Venezuela: Revisión sistemática y análisis de diversidad. *Acta Biologica Venezuelica* **40**(1), 129–137 (2020).
- [30] Cañizales, I. Comunidad de helmintos parásitos en especies de anuros del estado Yaracuy, Venezuela. Tesis de Doctorado, Universidad Central de Venezuela (2016).
- [31] Caraballo, J. Comunidades de helmintos endoparásitos en tres especies de anuros del Hato “La Iguana”, Estado Guárico. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela (2019).
- [32] Molina, C. *Atelopus cruciger*: Past, Present and Future in Venezuela. *Froglog* **100**, 47–49 (2012).

- [33] Rivas Fuenmayor, G. Geographic distribution. Anura. *Atelopus cruciger*. *Herpetological Review* **29**, 172 (1998).
- [34] Lötters, S., La Marca, E. and Vences, M. Redescriptions of two toad species of the genus *Atelopus* from coastal Venezuela. *Copeia* **2**, 222–234 (2004).
- [35] Lichtenstein, M. H. C., and Von Martens, E. C. *Nomenclator Reptilium et Amphibiorum Musei Zoologici Berolinensis*. (Königlich Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Berlin, 1856).
- [36] La Marca, E. *et al.* Catastrophic population declines and extinctions in Neotropical harlequin frogs (Bufonidae: *Atelopus*). *Biotropic*. **37**, 190–201 (2005).
- [37] Rodríguez, J. P., García-Rawlins, A. and Rojas-Suárez, F. (eds.) Libro Rojo de la Fauna Venezolana. Fourth Edition (Provita and Fundación Empresas Polar, Caracas, Venezuela, 2015).
- [38] Rodríguez-Contreras, A., Señaris, J. C., Lampo, M. and Rivero, R. Rediscovery of *Atelopus cruciger* (Anura: Bufonidae): current status in the Cordillera de La Costa, Venezuela. *Oryx*. **42**(2), 301–304 (2008).
- [39] Castro, N. Ecología del Sapito Arlequín de Rancho Grande *Atelopus cruciger* (Anura: Bufonidae) en el río Cuyagua, Estado Aragua. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela (2015).
- [40] Lampo, M. 2012. *Batrachochytrium dendrobatidis* in Venezuela: current research and perspectives. *Froglog* **100**, 45–46 (2012).
- [41] Lampo, M., Rodríguez, A., La Marca, E. and Daszak, P. A chytridiomycosis epidemic and a severe dry season precede the disappearance of *Atelopus* species from the Venezuelan Andes. *Herpetological Journal* **16**(4), 395–402 (2006).
- [42] Lampo, M. La Quitridiomycosis Cutánea: una enfermedad emergente que amenaza a los anfibios de Venezuela. *Boletín Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales* **77**(1), 55–74 (2017).
- [43] Lampo, M. Las invasiones biológicas a través de dos casos: el sapo común (*Rhinella marina*) y el hongo causante de la Quitridiomycosis Cutánea (*Batrachochytrium dendrobatidis*) *Boletín Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales* **81**(1), 1–24 (2021).
- [44] Rodríguez, J. P. and Rojas-Suárez, F. (eds.) Libro Rojo de la Fauna Venezolana. Third Edition (Provita y Shell de Venezuela, S.A., Caracas, Venezuela, 2008).
- [45] Sexton, O. Observations on the life history of a Venezuelan frog, *Atelopus cruciger*. *Acta Biologica Venezuelica* **2**, 235–242 (1958).
- [46] Díaz-Ungria, C. Parasitología de animales domésticos en Venezuela. Vol. I y II (Consejo para el Desarrollo Científico y Humanístico, Universidad del Zulia, Venezuela, 1970).
- [47] Díaz-Ungria, C. Cestodes de Venezuela I. Especies reportadas hasta la fecha. *Memoria de la Sociedad La Salle de Ciencias Naturales* **15**(42), 189–244 (1955).
- [48] Hartwich, G. *Schlauchwürmer, Nematelminthes; Rundoder Fadenwürmer, Nematoda; Parasitische Rundwürmer von Wirbeltieren I. Rhabditida und Ascaridida*. Die Tierwelt Deutschlands 62 (Gustav Fischer Verlag, Jena, 1975).
- [49] Hartwich, G. *Schlauchwürmer, Nematelminthes, Rundoder Fadenwürmer, Nematoda, Parasitische Rundwürmer von Wirbeltieren. II. Strongylida: Strongyloidea und Ancylostomatoidea*. Die Tierwelt Deutschlands 68 (Gustav Fischer Verlag, Jena, 1994).
- [50] Khalil, L. F., Jones, A. and Bray, R.A. (eds.) *Key to the cestodes of vertebrates* (CAB International, Wallingford, UK, 1994).
- [51] Ben Slimane, B., Guerrero, R. and Durette-Desset, M. C. *Oswaldocruzia venezuelensis* sp. n. (Nematoda: Trichostongylida, Molineoidea) a parasite of *Bufo marinus* from Venezuela. *Folia Parasitologica*, **43**, 297–300 (1996).
- [52] Anderson, R. *Nematode parasites of vertebrates: their development and transmission. 2nd ed.* (CAB International, Wallingford, UK, 2000).
- [53] Anderson, R. C., Chabaud, A. G. and Willmott, S. *Keys to the Nematode Parasites of Vertebrates: Archival Volume* (CAB International, Wallingford, UK, 2009).
- [54] Gibbons, L. M. *Keys to the nematode parasites of vertebrates. Supplementary volume* (CAB International, Wallingford, UK, 2010).
- [55] López, R. F. *Epidemiología. Enfermedades transmisibles y crónico-degenerativas. 2nd. Ed.* (Editorial Manual Moderno, México, 2006).
- [56] Bush, A. O., Lafferty, K. D., Lotz, J. M. and Shostak, A. W. Parasitology meets Ecology on its own terms: Margolis *et al.*, Revisited. *Journal of Parasitology* **83**(4), 575–583 (1997).
- [57] Guerrero, R. Ecto and Endoparasites in Mammals: Biodiversity assessment in the lower Urubamba Region. En: Biodiversity Assessment and Long-term Monitoring of the Lower Urubamba Region in Peru. Phase II: San Martín-3 and Cashiriari-2 Well Sites, Dallmeier, F. and Alonso, A. (eds.) (Institute for Conservation Biology, Smithsonian Institution. Washington, USA, 1997) pp. 345–349.
- [58] Morales, G. and Pino, L.A. *Parasitología Cuantitativa* (Fundación Fondo Editorial Acta Científica Venezolana, 1982).
- [59] Morales, G., Pino, L. A., Graterol, D. and Perdomo, L. Sampling technique for estimating the abundance and prevalence of bovine parasitic nematodes. *Revista Científica FCV – LUZ*, **1**(2), 46–50 (1991).
- [60] Moreno, C. *Métodos de medición de la biodiversidad* (M&T–SEA Manuales y Tesis, Vol. 1, Saragoza, España, 2001).
- [61] Magurran, A. E. and McGill, B. J. *Biological Diversity Frontiers in Measurement and Assessment* (Oxford University Press Ink, New York, USA, 1988).
- [62] Hamann, M. I., Kehr, I. A. and González, C. E. Community Structure of Helminth Parasites of *Leptodactylus bufonius* (Anura: Leptodactylidae) from Northeastern Argentina. *Zoological Studies* **51**(8), 1454–1463 (2012).
- [63] Margalef, R. La ecología, entre la vida real y la física teórica. *Investigación y Ciencia*. **225**, 66–73 (1995).

- [64] Goldberg, S. R. and Bursey, C. R. Helminths of three toads, *Bufo alvarius*, *Bufo cognatus* (Bufonidae), and *Scaphiopus couchii* (Pelobatidae), from Southern Arizona. *Journal of the Helminthological Society of Washington* **58**, 142–146 (1991).
- [65] Goldberg, S. R. and Bursey, C. R. Helminths of the red-spotted toad, *Bufo punctatus* (Anura: Bufonidae), from Southern Arizona. *Journal of the Helminthological Society of Washington* **58**, 267–269 (1991).
- [66] Goldberg, S. R. and Bursey, C. R. Helminths of the marine toad, *Bufo marinus* (Anura: Bufonidae) from American Samoa. *Journal of the Helminthological Society of Washington* **59**, 131–133 (1992).
- [67] Goldberg, S. R., Bursey, C. R. and Ramos, I. The component parasite community of three sympatric toad species, *Bufo cognatus*, *Bufo debilis* (Bufonidae), and *Spea multiplicata* (Pelobatidae) from New Mexico. *Journal of the Helminthological Society of Washington* **62**, 57–61 (1995).
- [68] Goldberg, S. R., Bursey, C. R. and Tawil, R. Helminths of an introduced population of the giant toad, *Bufo marinus* (Anura: Bufonidae), from Bermuda. *Journal of the Helminthological Society of Washington* **62**, 64–67 (1995).
- [69] Barton, D. P. Ecology of helminth communities in tropical Australian amphibians. *International Journal of Parasitology* **29**, 921–926 (1999).
- [70] Galicia-Guerrero, S., Bursey, C. R., Goldberg, S. R. and Salgado-Maldonado, G. Helminths of two sympatric toad species, *Bufo marinus* (Linnaeus) and *Bufo marmoratus* Wiegmann, 1833 (Anura: Bufonidae) from Chamela, Jalisco, Mexico. *Comparative Parasitology* **67**, 129–133 (2000).
- [71] Zug, G. R., Vitt, L. J. and Caldwell, J. P. Herpetology: an introductory biology of amphibians and reptiles (Academic Press, New York, USA, 2001).
- [72] González, C. E. and Hamann, M. First record of *Cosmocerca podicipinus* Baker and Vaucher, 1984 (Nematoda, Cosmocercidae) in *Pseudopaludicola falcipes* (Hensel, 1867) (Amphibia, Leptodactylidae) in Argentina. *FACENA* **20**, 65–72 (2004).
- [73] González, C. E. and Hamann, M. Parasitic nematodes of *Chaunus granulatus major* (Müller and Hellmich, 1936) (Anura: Bufonidae) in Corrientes, Argentina. *Cuadernos de Herpetología* **20**(1), 43–50 (2006).
- [74] González, C. E. and Hamann, M. Parasitic helminths of *Leptodactylus bufonius* Boulenger, 1894 (Anura: Leptodactylidae) from Corrientes, Argentina. *Revista Española de Herpetología* **20**, 39–46 (2006).
- [75] González, C. E. and Hamann, M. The First record of amphibians as paratenic host of *Serpinema* larvae (Nematoda, Camallanidae). *Brazilian Journal of Biology* **67**(3), 579–580 (2007).
- [76] González, C. E. and Hamann, M. Nematode parasites of two anuran species *Rhinella schneideri* (Bufonidae) and *Scinax acuminatus* (Hylidae) from Corrientes, Argentina. *Revista de Biología Tropical* **56**(4), 2147–2161 (2008).
- [77] González, C. E. and Hamann, M. First Report of Nematodes in the Common Lesser Escuerzo *Odontophrynus americanus* (Dumeril & Bibron, 1841) (Amphibia: Cycloramphidae) from Corrientes, Argentina. *Comparative Parasitology* **76**(1), 122–126 (2009).
- [78] González, C. E. and Hamann, M. Seasonal occurrence of *Cosmocerca podicipinus* (Nematoda: Cosmocercidae) in *Pseudopaludicola falcipes* (Anura: Leiuperidae) from the agricultural area in Corrientes, Argentina. *Revista Ibero-Latinoamericana de Parasitología* **68**, 173–179 (2009).
- [79] González, C. E. and Hamann, M. First record of parasitic nematodes of *Physalaemus santafecinus* (Anura: Leiuperidae) from Corrientes, Argentina. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **81**, 677–687 (2010).
- [80] González, C. E. and Hamann, M. Cosmocercid nematodes of three species of frogs (Anura: Hylidae) from Corrientes, Argentina. *Comparative Parasitology* **78**, 212–216 (2011).
- [81] Goldberg, S. R. and Bursey, C. R. Helminths of two anuran species, *Atelopus spurrelli* (Bufonidae) & *Dendrobates histrionicus* (Dendrobatidae), from Colombia, South America. *Parasitology International* **52**, 251–253 (2003).
- [82] Goldberg S.R. and C.R. Bursey. Helminths from fifteen Species of Frogs, (Anura: Hylidae) from Costa Rica. *Phyllomedusa* **7**(1), 25–33 (2008).
- [83] Bursey, C. R., Goldberg, S. R. and Telford Jr., S.R. New species of *Aplectana* (Nematoda: Cosmocercidae) and *Mesocoelium monas* (Digenea: Brachycoeliidae) in *Lepidophyma flavimaculatum* (Squamata: Xantusiidae) from Costa Rica. *Caribbean Journal of Science* **42**(2), 164–170 (2006).
- [84] Ramallo, G., Bursey, C. R. and Goldberg, S. R. New species of *Aplectana* (Ascaridida: Cosmocercidae) in the Toad *Rhinella granulosa* and *Rhinella schneideri* (Anura: Bufonidae) from Northern Argentina. *Journal of Parasitology* **94**(6), 1357–1360 (2008).
- [85] Dyer, W. G. Cestodes of some Ecuadorian amphibians and reptiles. *Proceedings of the Helminthological Society of Washington* **53**, 182–183 (1986).
- [86] Paredes-León, R., García-Prieto, L., Guzmán-Cornejo, C., León-Régagnon, V. and Pérez, T. M. Metazoan parasites of Mexican amphibians and reptiles. *Zootaxa* **1904**, 1–166. (2008).
- [87] Jones, M. K. A taxonomic revision of the Nematotaeniidae Lühe, 1910 (Cestoda: Cyclophyllidea). *Systematic Parasitology* **10**, 165–245 (1987).
- [88] McAllister, C. T. Protozoan, helminth, and arthropod parasites of the spotted chorus frog, *Pseudacris clarkii* (Anura: Hylidae), from northcentral Texas. *Journal of the Helminthological Society of Washington* **58**, 51–56 (1991).
- [89] McAllister, C. T., Bursey, C. R. and Freed, P. S. Helminth Parasites (Cestoidea: Nematoda) of Select Herpetofauna from Paraguay. *Journal of Parasitology* **96**(1), 222–224 (2010).
- [90] McAllister, C. T., Bursey, C. R. and Freed, P. S. Helminth parasites of amphibians and reptiles from the Ucayali region, Peru. *Journal of Parasitology* **96**(2), 444–447 (2010).
- [91] Campião, K. M. *et al.* Checklist of Helminth parasites of Amphibians from South America. *Zootaxa* **3843**, 1–93 (2014).

- [92] Joyeux, C. Recherches sur le cycle evolutive des *Cylindrotaenia*. *Annales de Parasitologie Humaine et Comparee* **2**, 74–81 (1924).
- [93] Stumpf, I. V. K. Ciclo evolutivo da *Cylindrotaenia americana* Jewell, 1916 (Cyclophyllidae: Nematotaeniidae) em *Bufo ictericus* Spix, 1824. *Acta Biológica Paranaense* **11/10**, 31–39 (1982).
- [94] Brooks, D. R., León-Regagnón, V., McLennan, D. A., Zelmer, D. Ecological fitting as a determinant of the community structure of plathyhelminth parasites of anurans. *Ecology* **87**, S76–S85 (2006).
- [95] Campião, K. M., DA Silva, R. J. and Ferreira, V. L. Helminth parasite communities of allopatric populations of the frog *Leptodactylus podicipinus* from Pantanal, Brazil. *Journal of Helminthology* **88**, 13–19 (2014).
- [96] Ulmer, M. J. and James, H.A. Studies on the helminth fauna of Iowa II. Cestodes of amphibians. *Proceedings of the Helminthological Society of Washington* **43**, 191–200 (1976).
- [97] Douglas, L. T. The taxonomy of nematotaeniid cestodes. *Journal of Parasitology* **44**, 261–273 (1958).
- [98] González, M. L., Señaris, J. C. and Rodríguez-Contreras, A. Diet of the striped toad *Atelopus cruciger* (Amphibia: Anura: Bufonidae) in the central section of the Cordillera de la Costa, Venezuela. *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales*. **173-174**, 71–86 (2012 “2010”).
- [99] Luque, J. L., Martins, A. N. and Tavares, L. E. R. Community Structure of Metazoan Parasites of the Yellow Cururu Toad, *Bufo ictericus* (Anura, Bufonidae) from Rio de Janeiro, Brazil. *Acta Parasitologica* **50**(3), 215–220 (2005).
- [100] Señaris, C. J., Lampo, M., Rodríguez-Contreras, A. and G. Velázquez. Breeding site fidelity of the critically endangered toad *Atelopus cruciger* (Anura: Bufonidae): implications for its conservation, *Salamandra*, **59**(3), 217–228 (2023).
- [101] Poulin, R. Sexual inequalities in helminth infections: a cost of being a male? *American Naturalist* **147**, 287–295 (1996).
- [102] Poulin, R. Species Richness of Parasite Assemblages: Evolution and Patterns. *Annual Revue Ecology Systematics* **28**, 341–358 (1997).
- [103] Dunn, R. R., Harris, N. C., Colwell, R. K., Koh, L. P. and N. S. Sodhi. The sixth mass coextinction: are most endangered species parasites and mutualists? *Proceedings. Biological sciences*, **276**(1670), 3037–3045 (2009).
- [104] Herczeg, D., Ujszegi, J., Kásler, A., D. Holly and A. Hettyey. Host–multiparasite interactions in amphibians: a review. *Parasites Vectors*, **14**, 296 (2021).
- [105] Poulin, R. Are there general laws in parasite ecology? *Parasitology* **134**, 763–776 (2007).
- [106] Crofton, H. D. A quantitative approach to parasitism. *Parasitology* **62**, 179–193 (1971).
- [107] Anderson, R. The regulation of host-population growth by parasitic species. *Parasitology* **76**, 119–157 (1978).
- [108] Morales, G., González, L., Pino, L.A., Domínguez, J. and Parra, M. Eco-epidemiological characterization of gastrointestinal helminths present in cattle from four regions of Venezuela. *Revista de la Facultad de Ciencias Veterinarias – UCV* **35**, 77–91 (1988).
- [109] Hamann, M. I. and Kehr, A. I. Spatiotemporal variation in helminth underpopulations and its relationship with fluctuations in *Hyla nana* (Anura, Hylidae) populations. *Cuadernos de Herpetología* **12**, 23–33 (1998).
- [110] Hamann, M. I. Seasonal maturation of *Catadiscus propinquus* (Digenea: Diplodiscidae) in *Lysapsus limellus* (Anura: Pseudidae) from an Argentinean subtropical permanent pond. *Physis* **59**, 29–36 (2004).
- [111] Joy, J. E. and Bunten, C.A. *Cosmocercoides variabilis* (Nematoda: Cosmocercidae) populations in the Eastern American toad, *Bufo a. americanus* (Salientia: Bufonidae), from western West Virginia. *Journal of the Helminthological Society of Washington*. **64**, 102–105 (1997).
- [112] Santos, V. G. T. and Amato, S. B. Helminth fauna of *Rhinella fernandezae* (Anura: Bufonidae) from the Rio Grande do Sul coastland, Brazil: analysis of the parasite community. *Journal of Parasitology* **96**, 823–826 (2010).
- [113] Barton, D. P. Dynamics of natural infection of *Rhabdias cf. hylae* (Nematoda) in *Bufo marinus* (Amphibia) in Australia. *Parasitology* **117**, 505–513 (1998).
- [114] Folstad, I. and Karter, A. J. Parasites, bright males, and the Immunocompetence Handicap. *The American Naturalist* **139**(3), 603–622 (1992).
- [115] Barton, D. P. and Richards, S. J. Helminth infracommunities in *Litoria geniculata* (Amphibia: Anura) from Birthday Creek, an upland rainforest stream in Northern Queensland, Australia. *International Journal of Parasitology* **26**, 1381–1385 (1996).
- [116] Klein, S. L. The effects of hormones on sex differences in infection: from genes to behavior. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, **24**(6), 627–638 (2000).
- [117] Blaustein, A. R., Gervasi, S. S., Johnson, P. T., Hoverman, J. T., Belden, L. K., Bradley, P. W. and G. Y Xie. Ecophysiology meets conservation: understanding the role of disease in amphibian population declines. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, **367**(1596), 1688–1707 (2012).
- [118] Poulin, R. Global warming and temperature-mediated increases in cercarial emergence in trematode parasites. *Parasitology*, **132**(Pt 1), 143–151 (2006).
- [119] Marcogliese, D. J. Implications of climate change for parasitism of animals in the aquatic environment. *Canadian Journal of Zoology*, **79**(8), 1331–1352 (2001).
- [120] Bolek, M. G. and J. R. Coggins. Seasonal occurrence and community structure of helminth parasites from the northern leopard frog (*Rana pipiens*) from southeastern Wisconsin, U.S.A. *Comparative Parasitology*, **67**(2), 202–209 (2000). Harchitio

Appendix I. Specimens analyzed. P.N, National Park; n/a, No information; p/n = Pending number

Museum of Biology of the Central University of Venezuela (MBUCV)

<i>Catalog No.</i>	<i>Place of Collection</i>	<i>Date of Collection</i>
MBUCV 725a, MBUCV 725b, MBUCV 725c, MBUCV 725d	Curupao, Miranda	11.02.1966
MBUCV 726a, MBUCV 726b, MBUCV 726c, MBUCV 726d, MBUCV 726e, MBUCV 726f, MBUCV 726g, MBUCV 726h, MBUCV 726i, MBUCV 726j, MBUCV 726k	Quebrada Caurimare, Miranda	21.02.1968
MBUCV p/n a	Cata, Aragua	xx.08.2009
MBUCV p/n b, MBUCV p/n c, MBUCV p/n d	Cuyagua, Aragua	xx.12.2009

Rancho Grande Biological Station Museum (MEBRG)

<i>Catalog No.</i>	<i>Place of Collection</i>	<i>Date of Collection</i>
MEBRG 10	Rancho Grande, Aragua	25.08.1960
MEBRG 1208	Rancho Grande, Aragua	27.05.1980
MEBRG 1209, MEBRG 1211, MEBRG 1212	Rancho Grande, Aragua	08.04.1980
MEBRG 1062	Chivacoa, Yaracuy	12.05.1981
MEBRG 4020	Guatire, Miranda	13.06.1981
MEBRG 4021	Guatire, Miranda	17.06.1981
MEBRG 4033, MEBRG 4034	P.N Henri Pittier, Aragua	03.10.1981
MEBRG 5097	P.N Henri Pittier, Aragua	14.07.2004
MEBRG 5510	P.N Henri Pittier, Aragua	19.05.2005
MEBRG 89	n/a	n/a

La Salle Natural History Museum (MHNLS)

<i>Catalog No.</i>	<i>Place of Collection</i>	<i>Date of Collection</i>
MHNLS 176, MHNLS 177, MHNLS 178, MHNLS 182	El Hatillo, Miranda	19.02.1950
MHNLS 793	Chivacoa, Yaracuy	04.03.1953
MHNLS 1076	Rancho Grande, Aragua	17.04.1955
MHNLS 1077	Rancho Grande, Aragua	30.04.1955
MHNLS 1179	Rancho Grande, Aragua	10.09.1955
MHNLS 1306a	Sebucan, Distrito Capital	19.04.1956
MHNLS 1321, MHNLS 1322	P.N El Ávila, Distrito Capital	17.06.1956
MHNLS 1416a, MHNLS 1416b	Caraballeda, Vargas	14.12.1957
MHNLS 6828, MHNLS 6829	Las Cascadas, Distrito Capital	09.05.1962
MHNLS 1704, MHNLS 1705, MHNLS 1706	P.N El Ávila, Distrito Capital	01.04.1963
MHNLS 2691	Bárbula, Carabobo	10.02.1964
MHNLS 1968, MHNLS 1969	Las Cascadas, Distrito Capital	18.10.1964
MHNLS 4327, MHNLS 4328	Rancho Grande, Aragua	07.10.1965
MHNLS 1907, MHNLS 1909, MHNLS 1910, MHNLS 1922	P.N San Esteban, Carabobo	18.12.1965
MHNLS 2432	n/a	06.02.1967
MHNLS 4424	P.N El Ávila, Distrito Capital	15.04.1968
MHNLS 5542, MHNLS 5543	Rancho Grande, Aragua	16.05.1971
MHNLS 5744, MHNLS 5745, MHNLS 5747	Rancho Grande, Aragua	11.06.1972
MHNLS 6591, MHNLS 6594, MHNLS 6596, MHNLS 6597, MHNLS 6598, MHNLS 6599, MHNLS 6600, MHNLS 6603, MHNLS 6604, MHNLS 6606	Patanemo, Carabobo	01.09.1976
MHNLS 6864, MHNLS 6865	P.N Henri Pittier, Aragua	06.08.1977
MHNLS 7522, MHNLS 7525, MHNLS 7526, MHNLS 7528, MHNLS 7529, MHNLS 7540, MHNLS 7541, MHNLS 7542, MHNLS 7543, MHNLS 7549, MHNLS 7551, MHNLS 7553, MHNLS 7555	Cerro Azul, Cojedes	26.02.1979
MHNLS 11944	Cerro Azul, Cojedes	31.03.1980
MHNLS 8453, MHNLS 8454, MHNLS 8456, MHNLS 8458	Cerro Azul, Cojedes	03.04.1980

Appendix II. Key Parameters for Assessing Parasite Populations

a. Operational Protocol for Laboratory Procedures

Technique	Protocol
Parasitological necropsy	1. Initial Incision and Examination: Make a longitudinal incision along the midline of the animal's abdomen to access the coelomic cavity. Visually inspect for parasites in situ before removing any internal organs.
	2. Organ Removal: Clip at the base of the tongue and gently pull downward while carefully cutting with sharp scissors until reaching the rectal ampulla. In female specimens, first separate and remove the egg sacs to avoid damaging internal structures. Handle all tissues delicately to ensure a thorough examination and minimize tissue damage.
	3. Tissue Preparation: Place the extracted tissues in petri dishes containing 0.9% saline solution to maintain structural integrity and facilitate examination. Use stereoscopic magnifiers (Carl Zeiss, with 20x, 40x, and 80x magnifications) and dissection needles for: Extracting visible parasites from the body cavity or organs. Carefully opening and dissecting each organ to search for hidden parasites.
	4. Parasitic Quantification: Count all parasites in situ using a manual counter to ensure accurate enumeration.
Preservation and Identification of Helminths	1. Helminth Preservation: Initial Fixation: Immerse all helminths in 70% ethyl alcohol at boiling temperature for fixation. Storage Protocols: Cestodes: Preserve in an alcohol-formaldehyde-acetic acid (AFA) solution. Nematodes: Store in 70% ethyl alcohol.
	2. Morphotaxonomic Identification: Clarify the helminths in lactophenol to make internal structures visible. Prepare temporary wet mounts using glycerin for microscopic examination. Perform a detailed morphological assessment to ensure accurate taxonomic identification.

b. Parasite populations parameters

Parameter	Formula	Description	Interpretation
Helminth Infection Composition index	$HICt = nt/N$, $HICt = (nt/N) \times 100$	nt = number of hosts classified in infection type t, N = total number of hosts examined	Proportion—expressed as a fraction or percentage—of hosts assigned to each category of parasitic infection. Enables direct comparisons across host groups and environmental contexts.
Parasite Burden	$PB = \sum_{i=1}^n pi$	n = number of hosts in the group (all hosts, or by sex/locality), pi = number of parasites in host i	Total number of helminths recovered from a host population (or a subset, e.g., by sex or locality), regardless of parasite species
Abundance	$A = \sum_{i=1}^n pi$	n = total number of hosts examined, pi = number of parasites in host i	Total number of individuals of a particular parasite species recovered from all examined hosts (infected and uninfected)
Relative Abundance	$RAi = \frac{Ai}{\sum Aj} \times 100$	Ai = total number of parasites of species i, s = total number of parasite species, $\sum Aj$ = total abundance of all parasite species	Proportion (or percentage) of individuals of a parasite species relative to the total number of all parasites recovered from all hosts
Prevalence	$P = i/n \times 100$	i = number of positive hosts, n = number of hosts tested	Number of infected hosts
Mean Intensity	$MI = \sum pt/i$	$\sum pt$ = total number of parasites, i = number of positive hosts	Number of individuals of a parasite species present in the total number of infected hosts
Mean Abundance	$MA = \sum pt/n$	$\sum pt$ = total number of parasites, n = number of hosts examined	Average number of individuals of a given parasite species present in the total number of infected or uninfected hosts
Infection index	$ii = MA (P/100)$	MA = mean abundance, P = prevalence	Number of individuals of a parasite species present in a single infected host
Aggregation coefficient	$k = \bar{X}^2 / S^2 - \bar{X}$	\bar{X} = arithmetic mean, S ² =variance	k ≈ 1: Random distribution. Parasites are distributed evenly among hosts, with no tendency to clump together. k < 1: Uniform or dispersed distribution. Parasites are distributed more evenly than randomly, meaning there is less variation in the number of parasites per host. k > 1: Aggregate distribution. Parasites tend to cluster in certain hosts, while others have few or no parasites. This is common in many parasitic infections.
Morisita dispersion index	$Imor = n \frac{\sum pc^2 - \sum pc}{(\sum pc)^2 - \sum pc}$	n = number of hosts examined, $\sum pc$ = total number corresponding to each parasite	Imor = 1: Indicates a random distribution with no discernible pattern. Imor < 1: Suggests a uniform distribution, where parasites are evenly spaced across hosts. Imor > 1: Indicates an aggregated distribution, where parasites are concentrated in certain hosts rather than being evenly or randomly distributed.

Appendix III. Diagnostic Morphotaxonomic Characters of Helminths Recorded in *Atelopus cruciger*.

The following table summarizes the primary and secondary morphotaxonomic characters used to identify helminths of *Atelopus cruciger*. Primary characters (e.g., buccal capsule morphology, scolex structure, ovary arrangement) follow standard taxonomic keys [39,45–52], whereas secondary characters (e.g., cuticular spines, esophageal denticles, gubernaculum) derive from supplementary traits observed in our specimens. Characters are grouped by morphological category to facilitate species-level comparison and identification.

Morphological Category	Character	<i>Cylindrotaenia americana</i>	<i>Oswaldocruzia venezuelensis</i>	<i>Rhabdias pseudosphaerocephala</i>	<i>Cosmocerca podicipinus</i>	<i>Aplectana</i> sp.
Dimension	Body length	2.5–4.0 cm	males: 0.65 ± 0.07 cm females: 1.30 ± 0.25 cm	1.1–1.3 cm	males: 2.42 ± 0.42 cm females: 4.75 ± 1.43 cm	0.2–0.7 cm
Head/Anterior Region	Buccal capsule	-	Small, without evident lips	Without lips or pseudolips	Well-developed	Small, poorly developed
	Cephalic papillae	-	-	-	Four, prominent	Six, arranged in three pairs
	Scolex	Without rostellum or hooks; with discrete suckers	-	-	-	-
Body/Cuticle	Cuticle characteristics	Thin, fragile wall with transparent eggs	Fine striations; posterior end with cuticular spines; faint longitudinal bands	Smooth, without notable inflations	Evident transverse striations; posterior end with cuticular spines	Fine transverse striations; conical caudal end
	Body shape	-	Cylindrical with slight dorsal curvature	Elongated with slight mid-body widening	Cylindrical with slight dorsal curvature	-
	Cervical alae	-	-	-	Present in anterior region	Absent
	Lateral cords	-	Well-defined	-	-	-
Digestive System	Esophagus	-	Divided into muscular and glandular portions; esophageal denticles visible in fresh specimens	Muscular, without posterior bulb	Short and robust	Short and thick
	Digestive system	-	-	Straight, without marked internal differentiations	-	-
Reproductive System	Proglottids	Wider than long; mature with transparent genital organs; unilateral genital pores	-	-	-	-
	Uterus/Ovaries	Sacciform uterus without lateral branches	Opisthodelphic ovaries	Didelphic ovaries; ovoviviparous females with larvae in uterus; vulva displaced posteriorly	-	Short oviducts connected to uterus via narrow duct
	Vulva position	-	Displaced toward posterior region	Mid-body region	-	-
	Male structures	Multiple spherical testes per proglottid; posterior end expanded into lobes	Several caudal papillae	-	Curved, robust spicules; numerous precloacal papillae	Slender, elongated spicules; well-developed gubernaculum
	Sexual dimorphism	-	-	-	Females larger than males, with pronounced size difference	Females significantly longer than males
	Other Structures	Excretory glands	-	Large, branched	-	-
Sensory papillae		-	-	-	-	Reduced in number and size
Nervous system		-	-	-	-	Distinct anterior ganglia

GUÍA PARA LOS AUTORES

Boletín

Objetivos generales

EL boletín es el órgano de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales para la difusión del conocimiento científico y técnico. Es una publicación semestral, de libre acceso, revisada por pares y multidisciplinaria en temas de competencia de la Academia. Es una publicación digital, que será impresa cuando así lo considere la Comisión Editora y la Junta de Directores. Su publicación no genera costos a los autores.

El Boletín publica preferentemente trabajos de investigación originales, artículos de revisión, ensayos, trabajos de incorporación, discursos y resultados de foros auspiciados por la Corporación. Se entiende que el material enviado al Boletín de la Academia no ha sido publicado ni enviado a otros órganos de difusión cualesquiera sean su tipo.

- *Artículos de investigación.* Contribuciones originales resultantes de investigaciones científicas realizadas por los autores.
- *Artículos de revisión.* Son trabajos exhaustivos sobre un tema (campo del conocimiento, línea de investigación, etc.) particular. Se recomienda que los mismos puedan dar una visión integradora del tema, actualizando la información proveniente de diferentes autores y fuentes y colocándola en un lenguaje accesible a públicos cultos, aunque no necesariamente especialistas en el campo.
- *Ensayos.* Son trabajos similares a los anteriores donde el mayor peso lo tienen las opiniones que el autor pueda desarrollar sobre un tema de actualidad y de prioritario interés para la Corporación, incluyendo la posibilidad de información original, producto de investigaciones propias del autor que podrían enriquecer el ensayo con información actual.
- *Trabajos de Ingreso.* Como su nombre lo indica, son los trabajos sometidos a la Corporación como requisito parcial para ser aceptado como Miembro Correspondiente.
- *Discursos.* Se incluirán los discursos realizados por las autoridades de la Corporación, por invitados a la Corporación o por cualquier miembro de la Academia durante el acto de su incorporación.
- *Resultados de foros.* La revista publicará en forma regular los resultados parciales (resúmenes) o en extenso de foros organizados por la Academia.

Normas para la presentación de trabajos sometidos a publicación

Los artículos para el Boletín se presentan en tamaño carta a una columna y son recibidos en Word o LaTeX. Podrán ser escritos en español o inglés.

- Los manuscritos deben contener:
 - » Título en español y en inglés.
 - » Resumen en español y en inglés de hasta 150 palabras.
 - » Palabras claves en español y en inglés.
 - » Dirección postal de los autores. Indicar el autor de correspondencia.
- El Boletín se estructura en secciones: Introducción, Metodología, Resultados, Discusión, Conclusiones, etc. Las secciones tienen un nivel hasta 4, siendo las tres primeras estrictamente numeradas: sección (1.), subsección (1.1), subsubsección (1.1.1) y párrafo (sin número en letra cursiva).
- Figuras, cuadros y tablas pueden estar incluidas en el texto, pero también deben ser enviadas (correctamente identificadas) por separado. Deben ser concisas y legibles. Su tamaño debe adecuarse al espacio de una columna (80 mm) o de doble columna (160 mm).
- Las tablas y cuadros no deben contener líneas internas ni sombreados. Deben ser presentadas en Excel cuando el texto es en Word.
- Figuras y fotografías:
 - » Color: resolución de 300 dpi; en RGB (edición digital); número colores 8-bit (256).
 - » Tono de grises: resolución de 300 dpi.
 - » Blanco y negro: resolución de 600 dpi.
- Para claridad, evitar patrones de sombreado y relleno en las figuras. Cuando se trabaje en Word, salvar en TIFF preferiblemente, y en LaTeX, guardar el PDF.
- Los pies de página deben evitarse en lo posible. No se permitirán para referencias.
- Tener los permisos de *copyright* en todos los casos que lo requieran.
- Referencias bibliográficas:
 - » El estilo de citas es numérico Vancouver; es decir, [1]. El orden en la lista de referencias (bibliografía) es

aquel del trabajo citado en el texto y el número encerrado en corchetes.

» El estilo de la bibliografía es similar al de Nature. Los siguientes ejemplos ilustran las diferentes formas de presentación de las referencias bibliográficas. (ejemplos).

- [1] White, B. D., Thompson, J. D. y Maple, M. B. Unconventional superconductivity in heavy-fermion compounds. *Physica C* **514**, 246-278 (2015).
- [2] Ortmann, J. E. *et al.* Competition between antiferromagnetism and ferromagnetism in Sr_2RuO_4 probed by Mn and Co doping. *Sci. Rep.* **3**, 2950 (2013).
- [3] Betts, D. S. *An Introduction to Millikelvin Technology* (Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1989).
- [4] Landaeta, J. F. Unconventional superconductivity and quantum criticality in noncentrosymmetric heavy fermions. Tesis de Doctorado, Universidad Central de Venezuela (2017).
- [5] López, S. E., Ceballos, J. y Quiroz, A. L. Quantum bits: a new way for computing. Preprint en <http://arXiv.org/quant-ph/0210156> (2020).
- [6] Bonalde, I. Producción científica en Venezuela en los últimos 30 años, <https://sites.google.com/site/lowtemplab/venezuela-1982-2012> (2013)
- [7] Bauer, E. y Sigrist, M. (eds.) *Non-Centrosymmetric Superconductors: Introduction and Overview*, Lecture Notes in Physics Vol. 847 (Springer-Verlag, Berlin, 2012).
- [8] Kimura, N. y Bonalde, I. Non-centrosymmetric heavy fermion superconductors. En *Non-Centrosymmetric Superconductors: Introduction and Overview*, Bauer, E. y Sigrist, M. (eds.) Lecture Notes in Physics Vol. 847 (Springer-Verlag, Berlin, 2012), Cap. 2, pp. 35–79.

Notas adicionales si se usa LaTeX

Además de las indicaciones anteriores, se sugiere:

- Utilizar documentclass article
- Se sigue `\cite{key}` \rightarrow [#], donde # es un número dado por el orden en la bibliografía.

Envío de documentos

Para evaluación se debe enviar el manuscrito (texto con figuras, cuadros y tablas incluidas) en PDF.

De ser aceptado el manuscrito, se debe enviar:

- Word: texto archivo.doc; tablas y cuadros en Excel y figuras en TIFF
- LaTeX: archivo .tex (con referencias incluidas) y figuras en PDF.

Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales
Palacio de las Academias, av. Universidad. Apartado de correo 1421. Caracas, 1010-A. Venezuela
