

Esteban Picado Sandí
Grace Wong Reyes
Felipe Araya Ramírez
Compiladores

Aportes de las ciencias para la Conservación Ambiental y el mejoramiento de la Salud Pública

TOMO V
COLECCIÓN DE ORO



Tomo V

Aportes de las
ciencias para la
Conservación
Ambiental y el
mejoramiento de la
Salud Pública

Esteban Picado Sandí
Grace Wong Reyes
Felipe Araya Ramírez
(Compiladores)

**Aportes de las
ciencias para la
Conservación
Ambiental y el
mejoramiento de la
Salud Pública**





© EUNA Editorial Universidad Nacional

Heredia, Campus Omar Dengo, Costa Rica

Teléfono: 2562-6754

Correo electrónico: euna@una.cr

Apartado postal: 86-3000 (Heredia, Costa Rica)

La Editorial Universidad Nacional (EUNA) es miembro del Sistema Editorial Universitario Centroamericano (SEUCA)

Colección Oro 50 aniversario UNA

© Aportes de las ciencias para la Conservación Ambiental y el mejoramiento de la Salud Pública

Esteban Picado Sandí - Grace Wong Reyes - Felipe Araya Ramírez (Compiladores)

Dirección editorial: Alexandra Meléndez C. amelende@una.ac.cr

Diseño de portada: Ester Molina Figuls

378.01097286

A644a

Aportes de las ciencias para la conservación ambiental y el mejoramiento de la salud pública / Esteban Picado Sandí, Grace Wong Reyes, Felipe Araya Ramírez (Compiladores). -- Primera edición. -- Heredia, Costa Rica : EUNA, 2023.

1 recurso en línea (286 páginas) : ilustraciones, fotografías a color, archivo de texto, PDF, 2 MB. -- (Colección de Oro 50 aniversario de la Universidad Nacional ; 5)

ISBN 978-9977-65-789-9

1. UNIVERSIDAD NACIONAL (COSTA RICA) 2. COSTA RICA 3. PROTECCIÓN AMBIENTAL 4. SALUD PÚBLICA 5. BIOTECNOLOGÍA 6. VIDA SILVESTRE 7. CIENCIAS AMBIENTALES 8. MEDICINA VETERINARIA 9. CIENCIAS DEL DEPORTE I. Picado Sandí, Esteban II. Wong Reyes, Grace III. Araya Ramírez, Felipe 6.

De conformidad con el Artículo 16 de la Ley N.º 6683, Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos, se prohíbe la reproducción parcial o total no autorizada de esta publicación por cualquier medio o procedimiento mecánico o electrónico, con excepción de lo estipulado en los artículos N.º 70 y N.º 73 de la misma ley, en los términos que estas normas y su reglamentación delimitan (Derecho de cita y Derecho de Reproducción con fines educativos).

Contenido

Presentación a la colección.....	15
Dedicatoria	17
Introducción	19
I Parte	
Conservación Ambiental	23
Capítulo I	25
Avances en biotecnología reproductiva de camarones marinos	25
Introducción: reproducción controlada de camarones marinos	27
Reproducción de camarones en el golfo de Nicoya	31
Calidad reproductiva en cautiverio y vida silvestre de machos.....	32
Tratamientos hormonales alternativos para reproducción de machos y hembras.....	35
Calidades de embriones y larvas nauplio para la criopreservación.....	37
Fertilización y evaluación de híbridos de especies de camarones.....	37
Tecnología de trasplantes de tejidos.....	38
Reversión sexual de camarones	40
Feromonas sexuales en camarones	41
Conclusiones	42
Bibliografía	46

Capítulo II 55

Procesos erosivos costeros en el caribe sur de Costa Rica:
un aporte desde el laboratorio de recursos naturales
y vida silvestre 55

Introducción..... 57

Desde la Universidad Necesaria: El Laboratorio
de Recursos Naturales y Vida Silvestre 58

Erosión costera en el Caribe sur de Costa Rica:
Una preocupación para el LARNAVISI..... 60

Principales resultados desde la investigación y extensión: 61

Líneas a futuro..... 65

Lecciones aprendidas 66

Bibliografía 67

Capítulo III 71

Servicios ecosistémicos de las abejas y su impacto en la
conservación ambiental 71

Introducción..... 73

Servicios ecosistémicos de las abejas y su impacto
en la Conservación Ambiental..... 73

Bibliografía 88

Capítulo IV 91

Legado académico del ICOMVIS a América Latina
y su camino hacia la innovación..... 91

Un poco de historia 93

Inicio de la maestría en Conservación y Manejo
de Vida Silvestre (MACOMVIS) 96

Consolidación, desarrollo y aportes de la MACOMVIS
a la conservación de la biodiversidad regional 98



Adaptarse a los nuevos tiempos: Desafíos y retos futuros para la maestría en conservación de vida silvestre y biodiversidad	107
Bibliografía	109
Capítulo V	111
El aporte de la Escuela de Ciencias Ambientales a la conservación y uso sostenible de los recursos naturales de Costa Rica.....	111
Introducción.....	113
Reseña histórica de la Escuela de Ciencias Ambientales.....	116
Formación de profesionales para el desarrollo forestal y ambiental del país	121
Carreras pertinentes con sello de calidad	122
Investigaciones científicas que aportan a la mejora de los ecosistemas forestales y al ambiente	123
Una extensión universitaria al servicio de las comunidades y los territorios	127
Retos y visión de futuro	130
Conclusiones	132
Agradecimientos	134
Bibliografía	135
Capítulo VI	137
La gestión de los espacios protegidos dentro del quehacer científico de la UNA: los corredores biológicos como reto de la conservación de la biodiversidad.....	137
Introducción.....	139
Tendencias actuales de investigación de las áreas protegidas: los corredores biológicos y el paisaje	144
Bibliografía	155

Capítulo VII 159

Desarrollo del área de materiales en el departamento de física..... 159

Investigación..... 165

Educación..... 170

Vinculación Externa..... 172

Anexo 1: Publicaciones del LAMI..... 176

II Parte

Salud pública 181

Capítulo I 183

Aportes en biotecnología y medicina regenerativa traslacional del hospital de equinos y especies mayores de la Escuela de Medicina veterinaria de la Universidad Nacional 183

Dos décadas de Medicina Regenerativa en Costa Rica y su relación con la Escuela de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional 185

Introducción..... 185

Historia de la M.R. en Costa Rica y el rol de la UNA 187

Proyectos futuros..... 192

Agradecimientos 192

Bibliografía 193

Caracterización de la reparación de lesiones de núcleo inducidas quirúrgicamente en el tendón flexor digital superficial equino..... 195

Introducción..... 195

Resultados..... 199

Discusión 199

Bibliografía 200



Estudios ortopédicos en equinos sobre regeneración traslacional de cartílago y hueso, utilizando ingeniería de tejidos y bioimpresión en 3D.....	203
Introducción.....	203
Aspectos básicos del cartílago, hueso subcondral y hueso, así como aplicación de defectos in vivo para estudios de regeneración	205
Fijación de matrices en defectos condrales u osteocondrales	207
Creación del modelo de la tuberosidad coxal del equino para investigación	207
Investigaciones de regeneración de cartílago y hueso subcondral en equinos.....	209
Nanofractura para estimular la médula ósea en defectos condrales de la rodilla del caballo (in vivo) y su potencial de regeneración de cartílago	210
Proyectos a futuro	211
Bibliografía	212
Capítulo II	215
UNA salud: un abordaje a las enfermedades zoonóticas en Costa Rica	215
Introducción.....	217
El caso de la brucelosis en Costa Rica.....	219
Caso estudio: Salmonella en Costa Rica	224
Caso estudio: Resistencia a los antimicrobianos bajo el abordaje Una Salud.....	228
Caso estudio: Encefalitis virales de naturaleza zoonótica en Costa Rica	231
Caso estudio: Los mapaches y sus agentes zoonóticos en ambientes urbanos de Costa Rica	235
Epílogo:.....	239
Bibliografía	240

Capítulo III 247

Impacto positivo a la docencia, investigación, extensión y la salud pública desde el trabajo transdisciplinario y el abordaje de interacciones inter-especie en el hospital especies menores y silvestres (HEMS) 247

Historia..... 250

Nuestra Visión..... 254

Nuestra Misión..... 254

Proyectos asociados al HEMS 254

Situación sanitaria del covid 19 264

Salud pública y las mascotas 265

Animales de servicio social..... 266

UNA mirada interdisciplinaria para fortalecer la vida académica 266

La empatía nos acerca al espíritu 268

Vivencias en pro de la salud y el bienestar animal en COSTA RICA en torno a los Proyectos de Ley de Bienestar de los Animales 18.298 y 18.625..... 270

Premios obtenidos por el HEMS 272

Agradecimientos 272

Capítulo IV 273

Contribución del hospital de especies menores y silvestres (HEMS) en la formación y el desarrollo académico, de investigación y extensión en medicina y manejo de animales silvestres mediante el abordaje de UNA salud 273

Desarrollo de la investigación y docencia en especies silvestres en la Escuela de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional 275

Extensión histórica en fauna silvestre emanada del HEMS 289

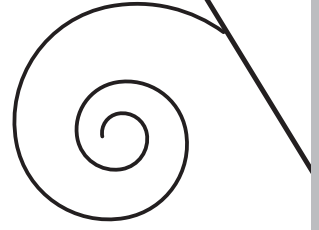
Turismo, fauna silvestre y el riesgo a la salud pública 298

Premios obtenidos por el HEMS 300

Agradecimientos 302



Bibliografía	303
Capítulo V	307
50 años de investigación en movimiento humano y salud: aportes de la Universidad Nacional	307
Empieza el viaje: ¿cómo se realizó este capítulo?.....	309
Primeros aportes: del CENEF al nacimiento de la UNA.....	310
Segunda etapa: el paradigma de la cultura física.....	311
Tercera etapa: el paradigma de las ciencias del deporte.....	313
Etapa contemporánea: consolidación del paradigma de las ciencias del movimiento humano.....	316
Conclusiones	321
Bibliografía	322
Capítulo VI	331
Aportes científicos de la universidad nacional en el área de la rehabilitación cardiaca en los últimos 20 años	331
Introducción.....	333
Desarrollo de la Rehabilitación Cardiaca en la Universidad Nacional	335
Investigaciones científicas en rehabilitación cardiaca en la Universidad Nacional	340
Conclusiones	345
Bibliografía	352
Capítulo VII	357
Calidad ambiental para la sociedad en los volcanes Poás y Turrialba de Costa Rica	357
Riesgo Químico.....	359
Bibliografía	391
Biografía de autores	397



Presentación a la colección

En 2023, la Universidad Nacional (UNA) celebra el cincuenta aniversario de su fundación, la cual es gestada como un ambicioso “Proyecto de universidad necesaria”, mediante la promulgación de la Ley N.º 5182 de creación de la UNA, por parte de la Asamblea Legislativa, el 15 de febrero de 1973 y caracterizada por su enfoque humanista y su vocación social. Tal y como lo indica Rose Mary Bravo (2022), una universidad abierta, comprometida con los grupos sociales más vulnerables de la sociedad costarricense que contribuye con la búsqueda de soluciones a las problemáticas y desafíos más apremiantes; esto, mediante la docencia, la investigación, la extensión y la producción.

La misión histórica de la UNA, tal y como se enuncia en su Estatuto Orgánico, se orienta a la creación y transmisión del conocimiento con acciones que promuevan la transformación de la sociedad, con lo cual se conduzca al bienestar humano en sus estadios más elevados de convivencia¹. En este sentido, la UNA promueve la movilidad social de aquellos sectores más desfavorecidos mediante la formación de profesionales destacados por su formación humanista y excelencia académica.

1 Preámbulo del Estatuto Orgánico de la Universidad Nacional, publicado en la Gaceta Extraordinaria N.º 8-2015 al 20 de abril de 2015.

El Consejo Editorial de la Universidad Nacional tiene el agrado de presentarles la ***Colección Oro: 50 aniversario de la Universidad Nacional***, un homenaje a aquellas personas que desde todos sus *campus* han contribuido con este gran proyecto de carácter pluricultural y diverso. El objetivo de esta colección consiste en reunir y difundir las aportaciones académicas, de orden colectivo, con una participación superior a 120 personas, autoras de nuestra universidad. Este proyecto colaborativo, liderado por la EUNA, refleja la impronta del trabajo en equipo propio de la universidad necesaria.

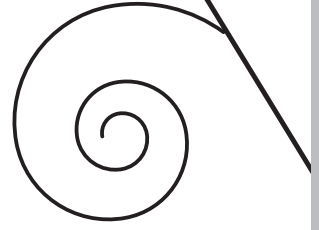
Esta colección brinda un recuento histórico institucional del estado actual en los ámbitos de las ciencias exactas y naturales, las ciencias de la salud y el movimiento humano, las ciencias sociales, la pedagogía, las artes, la literatura y las humanidades, así como la diversidad regional en las sedes interuniversitarias, el aporte del movimiento estudiantil y las áreas del quehacer universitario de la investigación, la extensión, y la producción, difusión del conocimiento y la cultura.

A lo largo de cincuenta años, la Universidad Nacional enfrenta grandes retos y desafíos con la finalidad de acoger las demandas de la sociedad costarricense, cada vez más diversa y compleja, con lo cual se atiende el mandato del Pbro. Benjamín Núñez (1974) de una Universidad Necesaria que, mediante la investigación y el ejercicio democrático, genera investigación científica con la finalidad de ofrecer los mejores profesionales al país.

En palabras de Rose Mary Ruiz (2022), la primera mujer rectora de la UNA y de América Latina, es crucial una universidad comprometida con la formación de profesionales identificados con los valores de una nación libre y democrática que promueva la excelencia académica, que cultive el respeto hacia los derechos humanos y a la diversidad del conocimiento. Además, que nos permita reorientar las metas desde la creatividad y flexibilidad de acuerdo con las necesidades de los grupos protagónicos de la sociedad costarricense.

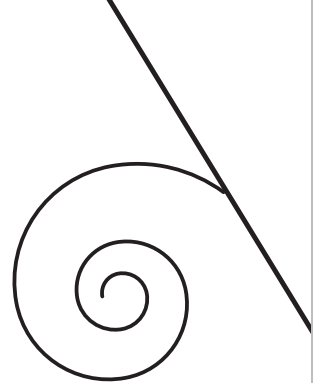
Finalmente, cada uno de los diez tomos de la Colección de Oro recopila la memoria histórica de la Universidad Nacional, con una visión retrospectiva de esta primera etapa, a la vez, que vislumbra de manera prospectiva los grandes desafíos de la UNA, en particular, del país y su inserción en una sociedad globalizada.

Dra. Iliana Araya Ramírez
Presidenta del Consejo Editorial Universidad Nacional



Dedicatoria

A todas aquellas personas (estudiantes, funcionarios, jubilados, sociedad civil, comunidades, gobierno y amigos internacionales) que apoyaron el desarrollo de la ciencia, la tecnología y sus aplicaciones para el bien del país desde el quehacer y sentir universitario de nuestra querida Universidad Necesaria.



Introducción

La Universidad Nacional (UNA) es una institución de educación superior pública que, tal como indica su Estatuto Orgánico, tiene una misión histórica que apunta “a crear y transmitir conocimiento en favor del bienestar humano, mediante acciones que propician la transformación de la sociedad para llevarla a estadios superiores de convivencia”¹.

Desde sus albores, la Universidad Nacional, a través de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEN), la Facultad de Ciencias de la Salud (FCSA) y la Facultad de las Ciencias de la Tierra y el Mar (FCTM), ha procurado generar conocimiento, pericia y competencias en diversos ámbitos de la ciencia, la tecnología, sus aplicaciones al desarrollo y al mejoramiento de la salud humana y animal. De hecho, a través de sus unidades académicas se conducen anualmente más de quinientas actividades académicas orientadas a la docencia, investigación, internacionalización, extensión universitaria, y la vinculación activa con diversos sectores sociales y productivos.

¹ Preámbulo del Estatuto Orgánico de la Universidad Nacional, publicado en La Gaceta Extraordinaria N.º 8-2015 al 20 de abril de 2015.

A lo largo de los años, la vocación científica, tecnológica y aplicada de nuestras comunidades de facultad, ha generado impacto positivo en diversos campos del quehacer productivo, sanitario, social, cultural y artístico del país. La impronta de estos trabajos se ha registrado como aportes a diversos tomos de la presente Colección de Oro que homenajea los 50 Años de la Universidad Nacional. No obstante, se consideró oportuno tener un volumen dedicado explícitamente a destacar los aportes que se han realizado en los ámbitos de Conservación Ambiental y Salud Pública.

En primera instancia, y como consecuencia del interés generado ante el deterioro ambiental, la sociedad contemporánea ha acuñado el concepto de Conservación Ambiental, entendido como la acción de la humanidad para cuidar, proteger y mantener todos los elementos de la naturaleza como la propia existencia de los seres humanos, la fauna, la flora, los ecosistemas, entre otros. Esta acción se realiza por medio de diferentes estrategias que buscan el mantenimiento, la restauración y la conservación de los recursos naturales, así como un uso racional de estos con el fin de generar un desarrollo sostenible.

Por su parte, la Salud Pública es la ciencia y el arte de prevención de la enfermedad, prolongar la vida y promover la salud a través de esfuerzos organizados y opciones informadas de la sociedad, organizaciones, comunidades públicas y privadas e individuales².

De esta forma, la presente obra compila catorce capítulos que registran la trayectoria de las actividades académicas en distintos ámbitos, pero que se pueden agrupar en dos secciones. Por un lado, en el ámbito de la Conservación Ambiental, tenemos aportes de la biotecnología en la reproducción de camarones marinos; se abordan también los procesos erosivos costeros en el Caribe Sur de Costa Rica, se describe el desarrollo de servicios ecosistémicos de las abejas en el país, se narra el legado en conservación de instancias académicas, tanto en el manejo de vida silvestre, como del uso sostenible de los recursos, se cuentan los aportes para fortalecer los corredores biológicos y se completa la sección con la contribución de la Ciencia de Materiales para optimizar procesos industriales y hacerlos más amigables con el ambiente.

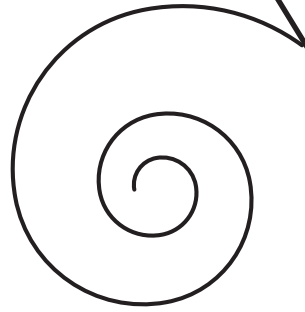


2 Centers for Disease Control and Prevention. Introduction to Public Health. <https://www.cdc.gov/training/publichealth101/public-health.html>

Por otro lado, en el ámbito de la Salud Pública, tenemos aportes de la biotecnología en la medicina regenerativa de diversas especies, se describe el concepto UNA salud y la evolución de los estudios en enfermedades zoonóticas (de amplio interés reciente por la covid-19), también se presentan diversos avances en el estudio de las interacciones, tanto para especies menores, como animales silvestres, asimismo se recuentan los aportes en la investigación en el área del movimiento humano, la salud y la rehabilitación cardíaca, así como en la calidad ambiental para los habitantes que viven cercanos a volcanes.

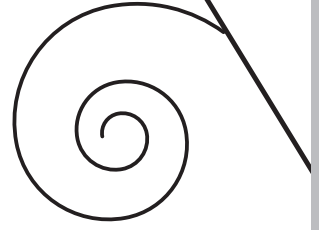
De esta forma, invitamos al lector a recorrer esta compilación histórica de aportes académicos, los cuales, desde la ciencia, la tecnología y las aplicaciones, han contribuido a que Costa Rica y el mundo tengan mayor conocimiento en temas de Conservación Ambiental y de Salud Pública.

Esteban Picado Sandí, Decano FCEN
Grace Wong Reyes, Decana FCTM
Felipe Araya Ramírez, Decano FCSA
Compiladores



I PARTE

Conservación
Ambiental

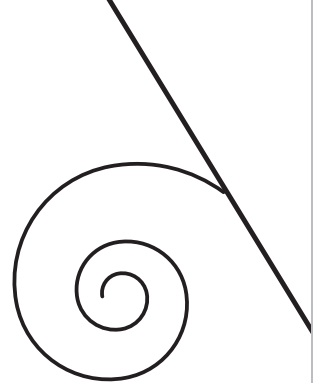


Capítulo I

Avances en biotecnología reproductiva de camarones marinos

Jorge Alfaro Montoya¹

¹ El Dr. Alfaro-Montoya ha laborado como académico de la Escuela de Ciencias Biológicas, UNA, desde 1986. Es profesor catedrático.



Introducción: reproducción controlada de camarones marinos

La industria mundial y la UNA

La acuicultura es la industria de producción de alimentos de mayor crecimiento mundial, y en Centroamérica ha crecido en un 200 % en los últimos años. Desde los trabajos pioneros en cultivo de larvas y cultivo en estanques de camarones por M. Fujinaga (Shigueno, 1975), la ablación del pedúnculo en un camarón peneido (Caillouet, 1972), y el cierre del ciclo de vida en cautiverio de algunas especies de camarones (Aquacop, 1979), la maricultura de camarones se ha expandido enormemente en el mundo, y se ha convertido en una industria importante.

En Japón, el cultivo de camarones inició en 1962. El sudeste asiático contribuye con un elevado porcentaje de la producción mundial de camarones; los principales productores han sido China, Indonesia, Tailandia e India (Weidner & Rosenberry, 1992; FAO, 2000). En América Latina, el cultivo de camarones también inició alrededor de 1962 en Ecuador. Posteriormente, otros países latinoamericanos iniciaron actividades de cultivo de camarón,

y han alcanzado o superado en pocos años sus propias capturas del producto, como Colombia y Honduras (Weidner & Rosenberry, 1992). La especie más cultivada es *Litopenaeus vannamei* (Figura 1), originaria de América, la cual alcanza 86 % de los 4,8 millones de toneladas de producción mundial para el 2016 (FAO, 2018). El resto de la producción corresponde principalmente a la especie asiática *Penaeus monodon*.

La biotecnología y la maricultura son áreas de investigación atinentes con el Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2015-2021, de Costa Rica. La Escuela de Ciencias Biológicas (ECB) de la UNA se ha dedicado desde sus inicios, a la docencia, la investigación y la extensión en el área de la acuicultura. En el 2004 se publicó el libro *Introducción al cultivo de camarones marinos* (Alfaro, 2004), como parte de sus aportes al estímulo del desarrollo nacional de esta actividad productiva. En el campo específico de la biotecnología reproductiva de camarones, diversas contribuciones al conocimiento universal se han generado desde el Laboratorio de Cultivo y Fisiología Reproductiva de Crustáceos (LCFRC, UNA), de la Estación de Biología Marina (EBM) Lic. Juan Bertoglia Richards, con fondos de la Ley de Pesca y Acuicultura N.º 8436 del Gobierno de Costa Rica, y el Programa UNA-LUW CRI 518, Holanda.

Alfaro-Montoya *et al.* (2019) proponen diez áreas de investigación relacionadas con la reproducción que tiene el potencial para mejorar la industria camaronera. Estas áreas corresponden al conocimiento científico básico, alternativas a la ablación del pedúnculo ocular basadas en terapias hormonales, tecnología de ARN interferente y feromonas sexuales, protección del producto mediante poliploides, mejoras del rendimiento de crecimiento con base en cultivo monosexual de hembras, cultivo de híbridos y mejoramiento genético, y mejoras en la producción de larvas mediante técnicas de fertilización *in vitro* y criopreservación de larvas y gametos.

Biología reproductiva

Los camarones marinos son crustáceos decápodos del suborden Dendrobranchiata. El sistema reproductor femenino consiste en un par de ovarios multilobulados (Figura 1), localizado en la región dorsal sobre el estómago, la hepatopáncreas y el intestino. Los oviductos son simples y terminan en las coxas del tercer par de patas caminantes (pereiópodos; King, 1948). La maduración de los ovocitos se divide en dos fases, vitelogénesis primaria y vitelogénesis secundaria (Adiyodi & Subramoniam, 1983; Charniaux-Cotton, 1985).

Las placas esternales ubicadas entre la tercera, cuarta y quinta pata caminadora (Pérez-Farfante, 1975; Browdy, 1992) se conoce como *télico*, y este puede ser abierto con ornamentaciones para la fijación de espermatóforos en el día del desove, o cerrado, con un receptáculo seminal para el almacenamiento de espermatozoides, dependiendo de la especie.

La maduración en cautiverio de hembras se estimula mediante la ablación unilateral del pedúnculo ocular. Pocos días después del procedimiento, se activa la maduración de los oocitos y los ovarios se vuelven visibles a simple vista. Cada hembra genera varios desoves por un período de dos a tres meses después de la ablación, y son reemplazadas por nuevas hembras. La ablación del pedúnculo afecta todos los aspectos de la fisiología del camarón (Quackenbush, 1986), y tiene un efecto nocivo sobre la calidad y cantidad del desove y supervivencia (Emmerson, 1980; Primavera, 1985; Tsukimura & Kamemoto, 1991; Benzie, 1998).

Los machos presentan una modificación de los exopoditos del primer par de patas natatorias (pleópodos), que consiste en un desarrollo membranoso llamado *petasma*, que participa en la transferencia y unión de los espermatóforos al télico de la hembra. El aparato reproductor masculino presenta un par de testículos dorsales multilobulados (Figura 2). Los conductos deferentes son muy complejos y terminan en las coxas del quinto par de patas caminadoras (Talbot *et al.* 1989). Las capacidades reproductivas de los machos pueden ser un factor limitante en cautiverio, por lo que una mejor comprensión de la producción de espermatóforos y el análisis de la calidad de los espermatozoides es importante en la maricultura del camarón (Chamberlain & Lawrence, 1981; Leung-Trujillo & Lawrence, 1987).

El modelo básico para la regulación fisiológica de la maduración sexual de camarones establece una cascada y un control hormonal antagónico, basado en tres niveles: (a) sistema nervioso central/órgano X-glándula del seno, (b) glándula androgénica /órgano mandibular, y (c) sistema reproductivo masculino/femenino y órganos complementarios (hepatopáncreas, apéndices) (Okumura, 2004; Nagaraju, 2011; Alfaro-Montoya *et al.*, 2019).

Reproducción controlada

La reproducción controlada en cautiverio consiste en cultivar hembras y machos en proporción 1:1 en tanques grandes ($\geq 3,7$ m de diámetro), con baja intensidad de luz, alto recambio de agua (≥ 100 % diario), con lo cual se evite el estrés. La alimentación se basa en productos marinos frescos, como peces, ostras, gusanos, almejas y calamares. Estos productos darán a las hembras un nivel adecuado de nutrientes esenciales: aminoácidos, colesterol y ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), con lo cual se permita la acumulación dentro de los ovocitos de esteroides, fosfolípidos, triacilgliceroles y diacilgliceroles (Ravid *et al.*, 1999).

Las hembras, luego de culminar la maduración ovárica, se vuelven receptivas y permiten el cortejo y la cópula. Se transfieren individualmente a tanques de desove (100 - 200 l), donde los huevos liberados durante la noche desarrollan sus etapas embrionarias en un lapso de diez horas. Los huevos con envoltura de eclosión o nauplios se enjuagan con agua de mar limpia, se concentran y se desinfectan con formalina y yodo (Browdy, 1992).

La primera fase larval: nauplios se colectan y se empaquetan en bolsas de plástico con agua de mar enfriada (20 °C) y oxigenada a densidades de 15 000 a 25 000 nauplios l⁻¹ (Kungvankij *et al.*, 1986). El comercio internacional y los programas de reproducción se verían favorecidos con la criopreservación de larvas de camarones peneidos (Anchordoguy *et al.*, 1988; Benzie, 1998), pero estas técnicas aún no se han desarrollado (Alfaro-Montoya *et al.*, 2019).

Reproducción de camarones en el golfo de Nicoya

Las capturas de la pesquería artesanal de camarón en la parte interior del golfo de Nicoya contienen tres especies principales: *Litopenaeus occidentalis* (56,47 % de las capturas totales), *L. stylirostris* (31,72 %) y *Rimapenaeus byrdi* (11,81 %; Angulo, 1993).

Nuestra contribución a la biología reproductiva de *L. occidentalis* en el golfo de Nicoya (Alfaro *et al.*, 1993b), en colaboración con colegas del Grupo de Pesquerías, liderado por el Lic. José Ángel Palacios (ECB, UNA), indica que esta especie encuentra un ambiente adecuado en el interior de este estero para su propagación, en aguas poco profundas, con menos de 20 m de profundidad y rodeada de manglares. Contrario a lo que se creía, nuestras observaciones indican que el golfo interior es zona de reproducción. Las hembras de *L. occidentalis* maduran, se aparean, desovan en esta zona y liberan los huevos para iniciar un nuevo ciclo biológico. Los desoves generan entre 266 000 y 186 600 huevos por hembra. Por otro lado, *L. stylirostris* y *L. vannamei* salvajes y maduradas en cautiverio (Pizarro & Alfaro, 1994; Vaca & Alfaro, 2000) desovaron un promedio de 219 935 y 194 446 huevos, respectivamente.

L. occidentalis es muy sensible al cautiverio. La ablación del pedúnculo no activa la maduración ovárica en las hembras silvestres (Alfaro, datos no publicados), y las hembras silvestres impregnadas eliminan su masa de espermatozoides después de la captura, lo cual genera desoves infértiles. La eyaculación manual provoca daños letales en las secciones terminales y ductos espermáticos. Estas limitaciones afectarían la producción de larvas en cautiverio con fines de repoblamiento o cultivo en jaulas como una alternativa a la pesca artesanal, según se ha reportado para *L. stylirostris* (Martínez-Córdova, 1988) y *L. vannamei* (Paquotte *et al.*, 1998).

El golfo de Nicoya es un estuario sometido a una gran presión de pesca artesanal. Nuestro entendimiento actual de la reproducción de camarones en el golfo de Nicoya permite una mejor implementación de las medidas regulatorias para la sostenibilidad de las poblaciones. Las poblaciones de camarones deben protegerse durante los picos reproductivos, y las áreas particulares de intensa actividad reproductiva deben cerrarse a las pesquerías.

Calidad reproductiva en cautiverio y vida silvestre de machos

Los aportes que hemos realizado sobre sexualidad masculina, con la participación de estudiantes del énfasis de Biología Marina (ECB, UNA), la UCR y la Universidad de Medicina Veterinaria de Hannover, Alemania, demuestran claramente que los camarones machos se ven afectados en su desempeño reproductivo en cautiverio.

Desde la perspectiva de ciencia básica, hemos realizado aportes sobre el entendimiento de diversos aspectos de la espermatogénesis. El alargamiento de la espina del espermatozoide es un proceso gradual en *L. stylirostris*, que tiene lugar en el ducto deferente descendente medio. Los machos de *R. byrdi* presentan espermatozoides sin espinas incluso en secciones de los ductos deferentes distales y ámpulas terminales (Alfaro, 1994), pero las observaciones microscópicas de esperma de los espermatóforos revelan espinas completamente alargadas (Alfaro, datos no publicados). Por lo tanto, como fue señalado por Shigekawa & Clark (1986) para *Sicyonia ingentis*, los espermatozoides de *R. byrdi* experimentan una rápida elongación que inevitablemente debe ocurrir dentro de los espermatóforos.

Los espermatozoides de *R. byrdi* están empaquetados en cápsulas esféricas de 100-160 μm (espermatóforos), la espina (3,5 μm) se desvía 80° del eje de la célula, de 6 μm de longitud. Los espermatozoides de *Xiphopenaeus riveti* también se empaquetan en cápsulas esféricas (80 μm), el cuerpo celular mide de 11 a 12 μm y la longitud de la espina es de 4 μm . Los espermatozoides de *L. occidentalis* son esféricos, con un diámetro de 4 μm y una espina de 3 μm (Alfaro *et al.*, 2003).

En camarones de télico abierto (*Litopenaeus*) se asumía que los espermatóforos de machos contenían espermatozoides completamente maduros; sin embargo, algunos estudios previos indicaban lo contrario. La fertilización *in vitro* genera resultados negativos o tasas de fertilización muy bajas (Alfaro *et al.* 1993b; Misamore & Browdy, 1997).

Nuestro estudio de tres especies de camarones (Alfaro *et al.*, 2003) logró la activación de los espermatozoides extraídos de los receptáculos seminales de las hembras de télico cerrado y

demostró que los espermatozoides de machos de *R. byrdi* y *X. riveti* no reaccionan, lo que indica que se requiere una fase de capacitación en los receptáculos seminales. De manera similar, los espermatozoides de machos de *L. occidentalis* reaccionaron en una baja proporción, lo que sugiere que la maduración completa de espermatozoides puede requerir la transferencia del semen al tético de las hembras.

Posteriormente, descubrimos que la maduración de los espermatozoides en tres especies del género *Litopenaeus* (Alfaro-Montoya *et al.*, 2007) requieren el desarrollo de una ultraestructura celular denominada malla fibrilar (MF), que se sintetiza de manera diferente en *L. stylirostris* en comparación con *L. vannamei* y *L. occidentalis*.

Después del apareamiento, los espermatozoides de *L. occidentalis* continúan experimentando cambios fisiológicos, que mejoran su capacidad de fertilización. Estos hallazgos han mejorado nuestra comprensión sobre la fertilización en camarones y permiten definir nuevos enfoques para desarrollar la fertilización *in vitro*. Este descubrimiento sobre capacitación fue confirmado por otros autores para *L. vannamei* (Aungsuchawan *et al.*, 2011) y *Farfantepenaeus paulensis* (Braga *et al.*, 2014).

Un estudio histológico detallado sobre la espermatogénesis en *L. vannamei* (Alfaro-Montoya, 2013) reveló que las espermátidas que salen del testículo están inmaduras y continúan su desarrollo en los ductos deferentes, donde completan la síntesis de la cápsula acrosomal y la espina, de manera similar a la maduración de espermátidas de *L. setiferus* (King, 1948) y *S. ingentis* (Shigekawa & Clark, 1986).

Posteriormente, realizamos un estudio de microscopía electrónica, que permitió confirmar el modelo de maduración sexual y capacitación de espermatozoides, propuesto inicialmente con base en observaciones experimentales de *L. stylirostris* (Alfaro, 1993). Este modelo inicial se mejoró y confirmó en *L. vannamei* (Alfaro-Montoya *et al.*, 2017) y consiste en tres fases: a) la espermatogénesis en los testículos, b) la maduración de los espermatozoides en el ducto deferente y c) la capacitación de espermatozoides en el tético de las hembras. Se plantea la hipótesis de que este modelo es una característica evolutivamente novedosa para el género *Litopenaeus*, compartido paralelamente con camarones sicionidos.

Los camarones peneidos machos son susceptibles a problemas de fertilidad. El conocimiento general consideraba que los

machos de *L. setiferus* presentaban un único problema de infertilidad, conocidos como melanización del sistema reproductor masculino (MSRM) y síndrome degenerativo del tracto reproductivo masculino (SDTRM). Se demostró, mediante aislamiento y ensayos de infectividad, que MSRM es una condición patológica en *L. setiferus*, causada por al menos tres especies de bacterias quitinolíticas (Alfaro *et al.* 1993a). Estudios similares en otras especies de camarones no se han publicado.

Alfaro (1990), como producto de su tesis de maestría en la Universidad de Texas A&M, propuso que el SDTRM era una condición diferente a la MSRM en *L. setiferus*. Contribuciones posteriores de otros autores han apoyado estas diferentes etiologías (Sánchez *et al.*, 2001; Pascual *et al.*, 2003; Goimier *et al.*, 2006). El SDTRM es una condición que genera una dramática disminución en el conteo de espermatozoides y un aumento en el porcentaje de anomalías de espermatozoides.

En *L. vannamei* descubrimos un mecanismo de renovación de espermátóforos, denominado *deterioro del espermátóforo* (DE) (Alfaro & Lozano, 1993; Alfaro-Montoya, 2010). Esta condición genera nuevos espermátóforos normales después del deterioro completo de las unidades antiguas. Posteriormente, Parnes *et al.* (2006) confirmaron la existencia de este mecanismo para la renovación de espermátóforos en *L. vannamei*.

El evento el Niño 2009-2010 fue clasificado como fuerte y generó anomalías máximas en el orden de 2.5-2.0 °C en el Pacífico de Costa Rica. Este fenómeno tuvo un efecto negativo directo sobre las poblaciones de *L. stylirostris* y *L. occidentalis* (Alfaro-Montoya & Vega, 2011), con lo cual se disminuyó la capacidad reproductiva de los machos. De esta manera, se pudo demostrar que la fisiología reproductiva de los machos es muy sensible a los cambios en el medio ambiente. Las condiciones anormales de temperatura, y posiblemente las alteraciones ecológicas asociadas, desencadenaron un profundo y reversible efecto sobre la calidad de los espermátóforos.

El análisis complementario, mediante el traslado de machos a un entorno estable en condiciones de laboratorio de maduración, mostró una mejoría significativa en su sexualidad en un corto período de tiempo, particularmente en *L. stylirostris*. Estos descubrimientos indican que las señales ambientales son un mecanismo primario de regulación reproductivo.

En resumen, nuestros estudios sobre la calidad de los espermatóforos en *L. setiferus*, *L. occidentalis*, *L. stylirostris* y *L. vannamei* indican que el cautiverio induce a una disminución en la calidad de los espermatozoides de machos silvestres, lo cual afecta los conteos de espermatozoides, pero no las anomalías celulares. Además, los machos jóvenes silvestres o de cultivo muestran altas tasas de espermatozoides inmaduros (células sin espinas). Pero las técnicas adecuadas de cultivo pueden mejorar la calidad de los espermatóforos.

Nuestros estudios también muestran que la eyaculación y la regeneración de espermatóforos tienen un efecto positivo en la calidad de los espermatozoides; sin embargo, la melanización o el ennegrecimiento del sistema reproductivo y la infertilidad pueden desarrollarse en machos estresados o con gonoporos dañados por causa de la eyaculación manual o eléctrica.

Tratamientos hormonales alternativos para reproducción de machos y hembras

Con el propósito de desarrollar técnicas alternativas para mejorar la calidad sexual de los machos en laboratorios de reproducción controlada, evaluamos el efecto de la inyección de 17-alfa-metiltestosterona a 0,01 y 0,10 $\mu\text{g g}^{-1}$ de peso corporal (Alfaro, 1996). La calidad mejoró significativamente en el orden de tres veces en machos jóvenes (20 g) de *L. vannamei*.

Resultados similares se reportaron posteriormente en *P. monodon*, y se sugiere este tratamiento como una alternativa práctica para mejorar la reproducción de esta especie (Yashiro *et al.*, 1998; Rosmiati *et al.*, 2022). La inducción podría ser el resultado de un efecto farmacológico que activa la espermatogénesis o la síntesis de espermatóforos por altas dosis de moléculas no relacionadas fisiológicamente, o podría ser que la 17-alfa-metiltestosterona esté involucrada en el control endocrino.

Además, definimos el efecto positivo de una hormona descubierta recientemente: metil farnesoato (MF) sobre la calidad del semen. La calidad de los espermatóforos de *L. vannamei* mejoró considerablemente mediante la inyección de MF a 120 ng g^{-1}

en machos de 28 g, lo que generó valores de 35-40 millones de espermatozoides y 20 % de anormalidades (Alfaro *et al.*, 2008). Este efecto inductor fue muy superior al registrado con la ablación del pedúnculo ocular en machos de 26 g (13 millones de espermatozoides y 41 % de anormalidad; Alfaro & Lozano, 1993) y machos salvajes de 36 g (12 millones y 38 % de anormalidad; Rendón *et al.*, 2007) de la misma especie.

Con respecto a la maduración ovárica, la industria practica la inducción de la madurez mediante ablación del pedúnculo ocular. Esta técnica es irreversible y conlleva la pérdida de la calidad del óvulo y eventualmente a la muerte (Benzie, 1998). Además, la técnica no funciona en todas las hembras, por lo que la producción de nauplios se sustenta en una baja proporción de hembras ablacionadas (Bray *et al.*, 1990).

En este campo de la biotecnología, con base en los conocimientos de endocrinología de crustáceos, estudiamos la inyección de serotonina en hembras salvajes de *L. vannamei*, como trabajo final de graduación (TFG, Vaca & Alfaro, 2000). La técnica indujo la maduración ovárica y el desove, a un ritmo más bajo que la ablación unilateral del pedúnculo ocular. Las causas de este efecto inductor reducido pueden estar asociadas con el control de la hormona inhibidora de las gónadas (HIG), los niveles de glucosa en hemolinfa y la inhibición de la síntesis de la hormona MF.

Teóricamente, las hembras tratadas con serotonina deberían ser capaces de tener un período reproductivo más prolongado, con lo cual se evite el agotamiento reproductivo mediante un protocolo adecuado de inducción. Sin embargo, un enfoque de una sola molécula no dio los resultados deseados, debido posiblemente a la regulación multifactorial de la reproducción de camarones, como lo indica Huberman (2000).

Después evaluamos un enfoque molecular combinado en colaboración con la Universidad Agrícola de Wageningen, Holanda. Descubrimos una novedosa y eficiente técnica de inducción de la madurez ovárica, basada en inyecciones de serotonina y el antagonista de la dopamina: espiperona. La dopamina estimula la liberación de la hormona inhibidora de las gónadas. Estas inyecciones activaron la producción masiva de huevos sin los efectos negativos de la ablación ocular en *L. vannamei* y *L. stylirostris* (Alfaro *et al.*, 2004). Luego, otros centros de investigación de Europa y Asia evaluaron la aplicación únicamente de serotonina en otras especies, y ofrecen a la industria mundial un avance significativo.

Cualidades de embriones y larvas nauplio para la criopreservación

En el campo de la criopreservación hemos estudiado la resistencia al enfriamiento y a los crioprotectores de embriones y larvas nauplio de camarones, en colaboración con la Universidad Agrícola de Wageningen, Holanda (Alfaro *et al.* 2001). Los embriones de *R. byrdi* mostraron buena tolerancia al enfriamiento y esta tolerancia al enfriamiento aumentó con la etapa de desarrollo. Larvas nauplius de *R. byrdi* y *L. stylirostris* mostraron más resistencia al enfriamiento y a la exposición al dimetilsulfóxido (DMSO). En experimentos posteriores, se probó el etilenglicol a 1,5 M y 15 min de tiempo de exposición, sin ningún efecto sobre la tasa de supervivencia de embriones (datos propios no publicados).

Además de la mayor tolerancia a los crioprotectores, el uso de larvas para la crioconservación, en lugar de embriones, tendría la ventaja de reducir las posibilidades de fracaso del desarrollo embrionario y eclosión. En crustáceos se ha reportado la criopreservación de larvas nauplio del percebe, *Balanus anfruite* (Khin-Maung *et al.*, 1998).

La crioconservación de larvas será de gran beneficio para la industria camaronera, que depende del costoso transporte internacional de semillas, mediante la utilización de grandes volúmenes de agua para garantizar la supervivencia de las larvas. Otros beneficios serían el almacenamiento de embriones en instalaciones de reproducción y la implementación de programas de reproducción y manipulación genética (Alfaro-Montoya *et al.*, 2019).

Fertilización y evaluación de híbridos de especies de camarones

Las manipulaciones genéticas de los camarones, como la inducción de poliploidía, la hibridación y la ingeniería genética, solo son posibles cuando los gametos se pueden manipular en condiciones *in vitro* (tesis de doctorado, Alfaro, 2001). Con base en nuestro conocimiento actual sobre el mecanismo de

fertilización de los camarones peneidos, se deben identificar las siguientes etapas sugeridas por Alfaro-Montoya *et al.* (2019) en cruces entre especies:

- a) Reconocimiento de la envoltura vitelina de los huevos ovulados mediante las espinas de los espermatozoides, según técnica desarrollada como TFG (Rojas & Alfaro, 2007).
- b) Inducción de la reacción del acrosoma de los espermatozoides capacitados (Griffin *et al.*, 1987).
- c) Capacitación de los espermatozoides en el télico de la misma especie (Alfaro *et al.*, 2007; Aungsuchawan *et al.*, 2011; Braga *et al.*, 2014).

La hibridación se ha intentado mediante inseminación artificial, pero con el desarrollo futuro de la técnica de fertilización *in vitro* se podrán controlar mejor las barreras interespecíficas de fertilización. Los reportes, incluido nuestro TFG, respecto a la producción de híbridos interespecíficos de camarones peneidos, han generado tasas de eclosión bajas o nulas (Lawrence *et al.*, 1984; Bray *et al.*, 1990; Misamore & Browdy, 1997; Pérez-Velázquez *et al.*, 2010; Ulate & Alfaro-Montoya, 2010).

Tecnología de trasplantes de tejidos

Otra novedosa alternativa al corte de pedúnculos oculares, muy poco estudiada, es la tecnología de trasplantes de tejido nervioso. En el LCFRC (EBM, ECB, UNA, Puntarenas), desarrollamos una técnica para implantar tejidos en el cuerpo de los camarones y así poder analizar el grado de viabilidad y el efecto inductor de los tejidos implantados. El interés particular de desarrollar esta tecnología se centra en un tejido específico llamado cadena de ganglios nerviosos del tórax. El conocimiento existente sugiere que este tejido produce una hormona que estimula la maduración de los ovarios, y, por lo tanto, su manipulación representa una alternativa para controlar la reproducción en cautiverio. Sin embargo, esta hormona hipotética no ha sido identificada y se cuestiona su existencia (Alfaro-Montoya *et al.*, 2019). Además, la inmunología de trasplantes en camarones es un campo científico desconocido.

Nuestros descubrimientos, en colaboración con colegas del Grupo de Pesquerías (ECB, UNA), constituyen el primer estudio de inmunología de trasplantes en camarones peneidos a escala mundial (Alfaro *et al.*, 2009). Los trasplantes de los ganglios torácicos de varias especies de la familia Penaeidae son reconocidos y aceptados como propios por la especie de cultivo: *L. vannamei*, sin activar el mecanismo típico de rechazo inmunológico, llamado encapsulación.

Por el contrario, los implantes de una especie muy distante evolutivamente sí indujeron el rechazo inmunológico. Además, descubrimos un nuevo mecanismo de absorción que impide a los implantes permanecer viables por tiempo indefinido, lo cual genera una lenta asimilación del tejido sin dejar marcas de rechazo. Este mecanismo nunca se había reportado en crustáceos, por lo que se abren nuevos horizontes de investigación sobre este mecanismo y los tejidos que lo activan.

Contrario a los supuestos generalizados, un estudio complementario indica que los extractos e implantes de ganglios torácicos de hembras en maduración son poco efectivos para inducir la maduración ovárica, en comparación con la inyección únicamente de serotonina o en combinación con la espiperona (Alfaro & Vega, 2010). Esta investigación sugiere que la no inducción de la madurez gonadal se debe a que el control hormonal negativo de los pedúnculos oculares es superior al control hormonal positivo de los ganglios torácicos, en *Litopenaeus*.

Posteriormente, demostramos en *L. vannamei*, en calidad de TFG (Vega-Alpízar *et al.*, 2017), que los implantes de tejido reproductivo intraespecífico son inmunológicamente aceptados y mantienen su condición viable. Esta evidencia refuerza las observaciones previas (Alfaro *et al.*, 2009), en el sentido de que el fenómeno de absorción de implantes depende de la composición del tejido implantado. Las ámpulas terminales y los conductos deferentes se vieron menos afectados que los músculos y los ganglios del cordón nervioso.

Reversión sexual de camarones

Recientemente, hemos investigado la reversión sexual de *Litopenaeus* mediante manipulación y biología molecular de la glándula androgénica (GA), como alternativa de producción de camarones de mayor tamaño, con fondos del Consejo Nacional de Rectores (CONARE), en colaboración con el Dr. Amir Sagi del Instituto Nacional de Biotecnología en el Negev, Universidad de Ben Gurion, Israel.

Nuestros aportes en esta área de la biotecnología marina representan la frontera del conocimiento en la especie de crustáceo más importante de la maricultura mundial (Alfaro-Montoya & Hernández, 2012; Alfaro-Montoya *et al.*, 2016; Vega-Alpízar *et al.*, 2017; Sancho-Blanco *et al.*, 2018).

El conocimiento previo indicaba que la GA es un cordón celular unido a la región distal del conducto deferente medio; sin embargo, esta descripción no correspondía con la anatomía de *Litopenaeus* y *Rimapenaeus*, y demostramos una organización anatómica más precisa de la GA en estos géneros (Alfaro-Montoya & Hernández, 2012; Alfaro-Montoya *et al.*, 2016). Descubrimos una glándula muy pequeña ubicada en la zona distal de las ámpulas terminales (Figura 1) y un vaso sanguíneo asociado con los ductos deferentes; la masa de células está organizada en racimos celulares, como se informó para otros camarones peneidos.

En la contribución de Alfaro-Montoya *et al.* (2016) demostramos, por primera vez, en un camarón de télico abierto *L. vannamei*, que la remoción de glándulas androgénicas (andrectomía) provoca una regeneración completa de apéndices, incluidos los pereiópodos y los pleópodos. Los machos andrectomizados mostraron una menor tasa de crecimiento; además, los petasmas y apéndices masculinos mostraron un menor desarrollo en comparación con los machos control.

La espermatogénesis en machos andrectomizados mostró anomalías con degradación de espermátidas y tejidos reproductivos. Sin embargo, la reversión del sexo no se logró independientemente del estadio de las postlarvas e inicia con estados de PL38.

Las cirugías de implantación de ámpulas terminales y su GA (Vega-Alpízar *et al.*, 2017) no generaron apéndices masculinos en ninguna hembra o control implantado. En cuanto al desarrollo del petasma masculino, dos hembras implantadas con GA

mostraron un fenotipo de macho en los endopoditos del primer par de pleópodos, caracterizado por una forma recta en la región distal, una protuberancia media y ausencia de setas a lo largo del borde medio curvo de la estructura.

Los endopoditos regenerados e intactos de hembras control mostraron el típico fenotipo femenino con un borde distal curvo, sin protuberancia media, y con setas. No se encontró evidencia concluyente de masculinización. Estos estudios indican que la plasticidad sexual es diferente entre crustáceos de los órdenes Dendrobranchiata y Pleocyemata (Alfaro-Montoya *et al.*, 2019) y, por lo tanto, se requiere más investigación para ofrecer esta biotecnología a la industria de la maricultura (Figura 3).

Sancho-Blanco *et al.* (2018), como producto de TFG, reportamos el aislamiento del ADNc parcial que codifica la hormona androgénica tipo insulina (HAI) de *L. vannamei* (Lv-HAI), *L. occidentalis* (Lo-HAI) y *L. stylirostris* (Ls-HAI) de la región distal de ámpulas terminales. Además, se realizó la caracterización molecular de estas secuencias, y las secuencias de aminoácidos resultantes se utilizaron para establecer el posicionamiento taxonómico del gen HAI entre otras especies de crustáceos decápodos.

El aislamiento de estas secuencias parciales proporciona evidencia sobre la ubicación anatómica de la glándula androgénica en *Litopenaeus* y es conocimiento fundamental para la exploración de la manipulación del sexo mediante ARN interferente.

Feromonas sexuales en camarones

Del estudio realizado por Alfaro-Montoya *et al.* (2019), en colaboración con colegas del Laboratorio de Análisis Genómico (LAGen, ECB) y de la Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, México, surge la propuesta de investigación en desarrollo durante 2021-2023 financiada por el Ministerio de Ciencia, Innovación, Tecnología y Telecomunicaciones (Micitt) y la UNA, ***Neurotransmisores y feromonas de maduración ovárica y desove en reproducción del camarón de cultivo mundial*** *Litopenaeus vannamei*. La investigación busca optimizar una alternativa práctica inmediata y descubrir una técnica sustitutiva no invasiva y ambientalmente amigable, a mediano plazo, para la maduración ovárica a través de feromonas

sexuales, mediante biología experimental (LCFRC), transcriptómica (LAGen) y análisis bioquímico (Laboratorio de Bioquímica y Biotecnología de Proteínas, LBBP).

El impacto de esta investigación es universal, porque el estado actual del conocimiento es muy elemental. Esta investigación es parte de un esfuerzo internacional cooperativo entre la ECB, el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), México, donde se evaluó la existencia de feromonas de contacto, el Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, México, donde están estudiando la aplicación de serotonina y espiperona en la dieta de los camarones, y la Universidad de Sunshine Coast, Australia, que participa directamente en nuestra investigación.

La investigación del CICESE, presentada como tesis de maestría (Gutiérrez-Vera, 2022), tuvo como objetivo estandarizar un protocolo de bioensayo para la detección de feromonas de contacto femeninas en *L. vannamei* y evaluar sus efectos sobre el comportamiento reproductivo de los machos. Los bioensayos usando hembras "artificiales" indican una asociación significativa entre el comportamiento reproductivo de machos de *L. vannamei* y los diferentes extractos cuticulares evaluados.

Conclusiones

Los descubrimientos logrados en biotecnología de la reproducción de camarones marinos, desde la ECB, UNA, en estos últimos treinta años son aportes al conocimiento universal que han permitido conocer en mayor detalle la biología reproductiva de estos animales de elevado valor comercial para muchos países de América Latina, Asia y África.

Estos conocimientos básicos en fisiología y anatomía reproductiva han servido de base para explorar alternativas de mejoramiento de la reproducción en cautiverio, tanto de machos como de hembras. Hemos generado conocimiento científico que nos permite manejar y mejorar la calidad reproductiva de machos, así como inducir la maduración ovárica de hembras sin el corte de pedúnculos oculares.

Los avances biotecnológicos en criopreservación de larvas, fertilización *in vitro*, cultivo de híbridos, cultivo de hembras de mayor crecimiento, y aplicación de feromonas inductoras de maduración ovárica son mejoras al sistema productivo que beneficiarán la industria del cultivo de estos mariscos. En este sentido, nuestros aportes han sido pioneros y sientan las bases del conocimiento para lograr en un futuro cercano estas innovaciones.

Figura 1
Principal especie de camarón marino cultivado en el mundo,
Litopenaeus vannamei

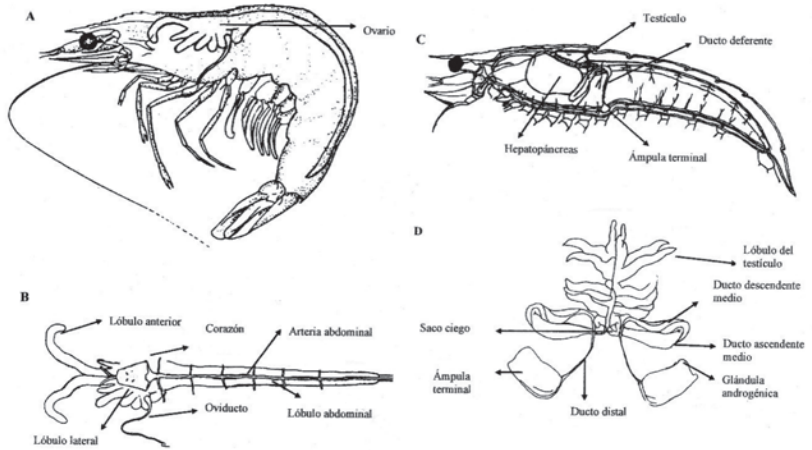


Figura 2

Sistema reproductor femenino y masculino de camarones penéidos.

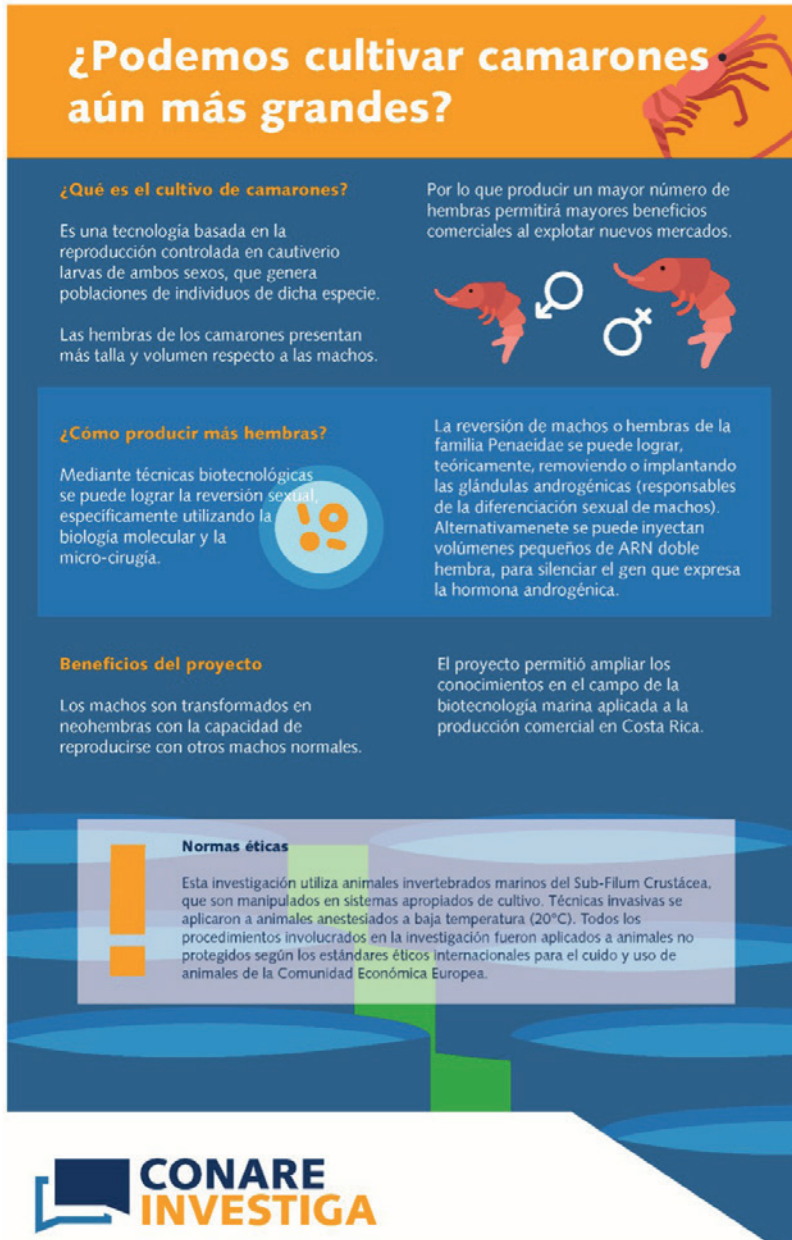
A y C: Localización anatómica de los aparatos reproductores,

B y D: Sistemas reproductores aislados.



Fuente: modificado de Alfaro-Montoya, 2001.

Figura 3
Infografía sobre la investigación en reversión sexual
de *Litopenaeus vannamei*.



Fuente: CONARE investiga.

Bibliografía

- Adiyodi, R. G. & Subramoniam, T. (1983). Arthropoda - Crustacea (oogenesis, oviposition and oosorption). En Adiyodi, K. G. (Ed.), *Reproductive biology of crustacea*, vol. 1: oogenesis, oviposition and oosorption (pp. 443-495). United Kingdom: John Wiley and Sons Ltd.
- Alfaro, J. (1990). A contribution to the understanding and control of the male reproductive system melanization disease of broodstock *Penaeus setiferus*. (Master's Thesis). Department of Wildlife and Fisheries Sciences, Texas A & M University, USA.
- Alfaro, J. (1993). Reproductive quality evaluation of male *Penaeus stylirostris* from a grow-out pond. *Journal of the World Aquaculture Society*, 24, 6-11.
- Alfaro, J. (1994). Ultraestructura de la glándula androgénica, espermatogénesis y oogénesis de camarones marinos (Decapoda: Penaeidae). *Revista de Biología Tropical*, 42, 121-129.
- Alfaro, J. (1996). Effect of 17 α -methyltestosterone and 17 α -hydroxyprogesterone on the quality of white shrimp *Penaeus vannamei* spermatophores. *Journal of the World Aquaculture Society*, 27, 487-492.
- Alfaro, J. (2001). Controlled reproduction of penaeid shrimp: a contribution to its improvement. (PhD Thesis). Wageningen Institute of Animal Sciences, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- Alfaro, J. (2004). *Introducción al cultivo de camarones marinos*. Heredia, Costa Rica: EUNA.
- Alfaro, J., Hernández, L., Zúñiga, G., Soto, R. & Mejía-Arana, F. (2009). Thoracic nerve cord - ganglia recognition in intraspecific and interspecific transplants in the white shrimp, *Penaeus (Litopenaeus) vannamei*. *Aquaculture*, 288, 126-131.
- Alfaro, J., Komen, J. & Huisman, E. A. (2001). Cooling, cryoprotectant and hypersaline sensitivity of penaeid shrimp embryos and nauplius larvae. *Aquaculture*, 195, 353-366.

- Alfaro, J., Lawrence, A. L. & Lewis, D. (1993a). Interaction of bacteria and male reproductive system blackening disease of captive *Penaeus setiferus*. *Aquaculture*, 117, 1-8.
- Alfaro, J. & Lozano, X. (1993). Production and deterioration of spermatophores in pondreared *Penaeus vannamei*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 24, 522-529.
- Alfaro, J., Muñoz, N., Vargas, M. & Komen, J. (2003). Induction of sperm activation in open and closed thelycum penaeoid shrimps. *Aquaculture*, 216, 371-381.
- Alfaro, J., Palacios, J. A., Aldave, T. M. & Angulo, R. A. (1993b). Reproducción del camarón *Penaeus occidentalis* (Decapoda: Penaeidae) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 41, 563-572.
- Alfaro, J., Ulate, K. & Vargas, M. (2007). Sperm maturation and capacitation in the open thelycum shrimp *Litopenaeus* (Crustacea: Decapoda: Penaeoidea). *Aquaculture*, 270, 436-442.
- Alfaro, J. & Vega, L. (2010). Effects of transplants and extracts of thoracic nerve cord - ganglia on gonad maturation of penaeoid shrimp. *Aquaculture Research*, 41, 182-188.
- Alfaro, J., Zúñiga, G. & Komen, J. (2004). Induction of ovarian maturation and spawning by combined treatment of serotonin and a dopamine antagonist, spiperone in *Litopenaeus stylirostris* and *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 236, 511-522.
- Alfaro, J., Zúñiga, G., García, A. & Rojas, E. (2008). Preliminary evaluation of the effect of juvenile hormone III and methyl farnesoate on spermatophore quality of the white shrimp, *Litopenaeus vannamei* Boone, 1931 (Decapoda: Penaeidae). *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 43(1), 167-171.
- Alfaro-Montoya, J. (2010). The reproductive conditions of male shrimps, genus *Penaeus*, sub-genus *Litopenaeus* (open thelyca penaeoid shrimps). A review. *Aquaculture*, 300, 1-9.
- Alfaro-Montoya, J. (2013). Descripción histológica de la oogénesis y espermatogénesis del camarón de cultivo, *Litopenaeus vannamei*. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 48 (2), 335-344.
- Alfaro-Montoya, J., Braga, A. & Umaña-Castro, R. (2019). Research frontiers in penaeid shrimp reproduction: Future trends to improve commercial production. A review. *Aquaculture*, 503, 70-87.

- Alfaro-Montoya, J., Braga, A., Vargas, M. & Umaña-Castro, R. (2017). Ultrastructural demonstration of the model of *Litopenaeus vannamei* (Crustacea, Penaeidae) male sexual maturation and spermatozoal capacitation. *Invertebrate Reproduction & Development*, 61(1), 9-17. DOI: 10.1080/07924259.2016.1244573.
- Alfaro-Montoya, J. & Hernández, L. (2012). The histological structure of the androgenic gland and cellular cord of the male reproductive system of adult *Litopenaeus* and *Rimopenaeus byrdi*. *Journal of Crustacean Biology*, 32(3), 351-357.
- Alfaro-Montoya, J., Hernández-Noguera, L., Vega-Alpízar, L. & Umaña-Castro, R. (2016). Effects of androgenic gland ablation on growth, sexual characters and spermatogenesis of the white shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Decapoda: Penaeidae) males. *Aquaculture Research*, 47 (9), 2768-2777.
- Alfaro-Montoya, J. & Vega, L. (2011). The effect of environmental cues and neurotransmitters on male sexuality of the eastern Pacific *Penaeus* (*Litopenaeus*) species. *Aquaculture*, 316, 60-67.
- Anchordoguy, T., Crowe, J. H., Griffin, F. J. & Clark, W. H. Jr. (1988). Cryopreservation of sperm from the marine shrimp *Sicyonia ingentis*. *Cryobiology*, 25, 238-243.
- Angulo, R. (1993). Crecimiento, mortalidad y madurez gonadal de *Penaeus stylirostris*, *Penaeus occidentalis* y *Trachypenaeus byrdi* en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. Tesis de licenciatura, Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional, Costa Rica.
- Aquacop. (1979). Penaeid reared broodstock: closing the cycle of *P. monodon*, *P. stylirostris* and *P. vannamei*. *Proceedings of the World Mariculture Society*, 10, 445-452.
- Aungsuchawan, S., Browdy, C. L. & Withyachumnarnkul, B. (2011). Sperm capacitation of the shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Research*, 42, 188-195.
- Benzie, J. A. H. (1998). Penaeid genetics and biotechnology. *Aquaculture*, 164, 23-47.
- Braga, A., Suita de Castro, L. A., Poersch, L. H. & Wasielesky, W. (2014). Spermatozoal capacitation of pink shrimp *Farfantepenaeus paulensis*. *Aquaculture*, 430, 207-210.

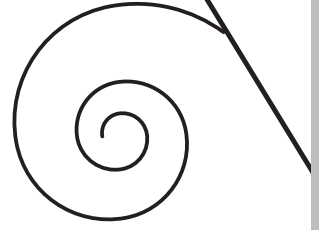
- Bray, W. A., Lawrence, A. L., Lester, L. J. & Smith, L. L. (1990). Hybridization of *Penaeus setiferus* (Linnaeus, 1767) and *Penaeus schmitti* Burkenroad, 1936 (Decapoda). *Journal of Crustacean Biology*, 10(2), 278-283.
- Browdy, C. L. (1992). A review of the reproductive biology of *Penaeus* species: Perspectives on controlled shrimp maturation systems for high quality nauplii production. In: Wyban, J. (Ed.), *Proceedings of the Special Session on Shrimp Farming* (pp. 22-51). EE.UU.: World Aquaculture Society.
- Caillouet, A. C. Jr. (1972). Ovarian maturation induced by eyestalk ablation in pink shrimp, *Penaeus duorarum* Burkenroad. *Proceedings of the World Mariculture Society*, 3, 205-225.
- Chamberlain, G. W. & Lawrence, A. L. (1981). Effect of light intensity and male and female eyestalk ablation on reproduction of *Penaeus stylirostris* and *P. vannamei*. *Journal of the World Mariculture Society*, 12, 357-372.
- Charniaux-Cotton, H. (1985). Vitellogenesis and its control in malacostracan crustacea. *American Zoologist*, 25, 197-206.
- Emmerson, W. D. (1980). Induced maturation of prawn *Penaeus indicus*. *Marine Ecology Progress Series*, 2, 121-131.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2000). *Aquaculture production 1998. FAO Fisheries Series N.º 56*. Italia. FAO.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2018). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the Sustainable Development Goals*. Italia. FAO.
- Goimier, Y., Pascual, C., Sánchez, A., Gaxiola, G., Sánchez, A. & Rosas, C. (2006). Relation between reproductive, physiological, and immunological condition of *Litopenaeus setiferus* pre-adult males fed different dietary protein levels (Crustacea; Penaeidae). *Animal Reproduction Science*, 92, 193-208.
- Griffin, F. J., Clark, W. H. Jr., Crowe, J. H. & Crowe, L. M. (1987). Intracellular pH decrease during the in vitro induction of the acrosome reaction in the sperm of *Sicyonia ingentis*. *The Biological Bulletin*, 173, 311-323.
- Gutiérrez-Vera, J. A. (2022). Feromonas sexuales femeninas de contacto en *Litopenaeus vannamei*: Estandarización del protocolo para su detección y sus efectos en el comportamiento de cortejo en machos. (Tesis de maestría). CICESE, Ensenada, Baja California, México.
- Huberman, A. (2000). Shrimp endocrinology. A review. *Aquaculture*, 191, 191-208.

- Khin-Maung, O., Kurokura, H., Iwano, T., Okamoto, K., Kado, R. & Hino, A. (1998). Cryopreservation of nauplius larvae of the barnacle, *Balanus amphitrite* Darwin. *Fisheries Science*, 64(6), 857-860.
- King, J. E. (1948). A study of the reproductive organs of the common marine shrimp, *Penaeus setiferus* (Linnaeus). *The Biological Bulletin*, 94, 244-262.
- Kungvankij, P., Tiro, L. B., Pudadera, B. J., Jr., Potestas, I. O., Corre, K. G., Borlongan, E., Talean, G. A., Bustilo, L. F., Tech, E. T., Unggui, A. & Chua, T. E. (1986). *Shrimp hatchery design, operation and management*. Philippines: Network of Aquaculture Centers in Asia.
- Lawrence, A. L., Bray, W. A., Wilkenfeld, J. S. & Lester, L. J. (1984). Successful interspecific cross of two species of marine shrimp *Penaeus stylirostris* and *Penaeus setiferus* in captivity. Ponencia presentada en 15ta. Conferencia Anual de World Aquaculture Society. 18-22 March 1984, Vancouver, B.C., Canada.
- Leung-Trujillo, J. R. & Lawrence, A. (1987). Observations on the decline in sperm quality of *Penaeus setiferus* under laboratory conditions. *Aquaculture* 65, 363-370.
- Martínez-Córdova, L. (1988). Culture of blue shrimp (*Penaeus stylirostris*) in floating cages. *The Progressive Fish-Culturist*, 50, 36-38.
- Misamore, M. & Browdy, C. (1997). Evaluating hybridization potential between *Penaeus setiferus* and *Penaeus vannamei* through natural mating, artificial insemination and *in vitro* fertilization. *Aquaculture* 150, 1-10.
- Nagaraju, G. P. C. (2011). Reproductive regulators in decapod crustaceans: an overview. *Journal of Experimental Biology*, 214, 3-16.
- Okumura, T. (2004). Perspectives on hormonal manipulation of shrimp reproduction. *The Japan Agricultural Research Quarterly*, 38(1), 49-54.
- Paquotte, P., Chim, L., Martin, J., Lemos, E., Stern, M. & Tosta, G. (1998). Intensive culture of shrimp *Penaeus vannamei* in floating cages: zootechnical, economic and environmental aspects. *Aquaculture* 164, 151-166.
- Parnes, S., Raviv, S., Shechter, A. & Sagi, A. (2006). Males also have their time of the month! Cyclic disposal of old spermatophores, timed by the molt cycle, in a marine shrimp. *Journal of Experimental Biology*, 209, 4974-4983.

- Pascual, C., Sánchez, A., Sánchez, A., Vargas-Albores, F., LeMoullac, G. & Rosas, C. (2003). Haemolymph metabolic variables and immune response in *Litopenaeus setiferus* adult males: the effect of an extreme temperature. *Aquaculture*, 218, 637-650.
- Pérez Farfante, I. (1975). Spermatophores and thelyca of the american white shrimps, genus *Penaeus*, subgenus *Litopenaeus*. *Fishery Bulletin*, 73(3), 463-486.
- Pérez-Velázquez, M., González-Félix, M., Zúñiga-Panduro, M. & Barraza-Guardado, R. (2010). Evidence of pre-zygotic barriers in attempts to cross-breed *Penaeus (Litopenaeus) vannamei* (Boone) and *P. (Litopenaeus) stylirostris* (Stimpson) by means of artificial insemination. *Aquaculture*, 304, 100-103.
- Pizarro, F. & Alfaro, J. (1994). Reproductive performance of *Penaeus stylirostris* females injected with heat-killed *Vibrio alginolyticus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 25, 576-578.
- Primavera, H. J. (1985). A review of maturation and reproduction in closed thelycum penaeids. In Taki, Y., Primavera, J. H., & Llobrera, J. A. (Eds.), *Proceedings 1st International Conference on the Culture of Penaeid Prawns/Shrimp, Aquaculture Department, SEAFDEC*. (pp. 47-64). Iloilo, Philippines.
- Quackenbush, L. S. (1986). Crustacean endocrinology; a review. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 43, 2271-2282.
- Rabid, T., Tietz, A., Khayat, M., Boehm, E., Michelis, R. & Lubzens, E. (1999). Lipid accumulation in the ovaries of a marine shrimp *Penaeus semisulcatus* (De Haan). *Journal of Experimental Biology*, 202, 1819-1829.
- Rendón, S. R., Macías, E. R., Calderón, S.P., Núñez, A. P. & Solís, R. I. (2007). Comparison of some reproductive characteristics of farmed and wild white shrimp males *Litopenaeus vannamei* (Decapoda: Penaeidae). *Revista de Biología Tropical*, 55 (1), 199-206.
- Rojas, E. & Alfaro, A. (2007). In vitro manipulation of egg activation in the open thelycum shrimp *Litopenaeus*. *Aquaculture*, 264, 469-474.

- Rosmiati, R., Parenrengi, A., Suryati, E., Lante, S., Harlina, H., Tenriulo, A. & Sahabuddin, S. (2022). Improved reproductive performance of captive male broodstock of tiger shrimp *Penaeus monodon* with 17 α -methyltestosterone induction. *The Israeli Journal of Aquaculture - Bamidgeh*, 74, 1-10. <https://doi.org/10.46989/001c.31616>
- Sánchez, A., Pascual, C., Sánchez, A., Vargas-Albores, F., LeMoullac, G. & Rosas, C. (2001). Hemolymph metabolic variables and immune response in *Litopenaeus setiferus* adult males: the effect of acclimation. *Aquaculture*, 198, 13-28.
- Sancho-Blanco, C., Umaña-Castro, R. & Alfaro-Montoya, J. (2018). Isolation and characterization of partial insulin-like androgenic gland hormone gene from distal terminal ampoules of three marine shrimp *Penaeus* species from the Eastern Pacific. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 46 (2), 461 - 468.
- Shigekawa, K. & Clark, W. H. Jr. (1986). Spermatogenesis in the marine shrimp, *Sicyonia ingentis*. *Development Growth & Differentiation*, 28, 95-112.
- Shigueno, K. (1975). *Shrimp culture in Japan*. Association for International Promotion, Tokyo, Japan.
- Talbot, P., Howard, D., Leung-Trujillo, J., Lee, T. W., Li, W. Y., Ro, H. & Lawrence, A. L. (1989). Characterization of male reproductive tract degenerative syndrome in captive penaeid shrimp (*Penaeus setiferus*). *Aquaculture*, 78, 365-377.
- Tsukimura, B. & Kamemoto, F. I. (1991). In vitro stimulation of oocytes by presumptive mandibular organ secretions in the shrimp, *Penaeus vannamei*. *Aquaculture*, 92, 59-66.
- Ulate, K. & Alfaro-Montoya, J. (2010). Sperm-egg incompatibility in inter-specific inseminations of *Penaeus (Litopenaeus) occidentalis*, *P. (Litopenaeus) stylirostris* and *P. (Litopenaeus) vannamei*. *Aquaculture*, 309, 290-292.
- Vaca, A. & Alfaro, J. (2000). Ovarian maturation and spawning in the white shrimp, *Penaeus vannamei*, by serotonin injection. *Aquaculture*, 182, 373-385.
- Vega-Alpízar, J. L., Alfaro-Montoya, J., Hernández-Noguera, L., Umaña-Castro, R., Aflalo, E. D. & Sagi, A. (2017). Implant recognition and gender expression following ampoule-androgenic gland implantation in *Litopenaeus vannamei* females (Penaeidae). *Aquaculture*, 468, 471-480.

- Weidner, D. & Rosenberry, B. (1992). World shrimp farming. In Wyban, J. (Ed.), *Proceedings of the Special Session on Shrimp Farming*. (pp. 1-21). World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, USA.
- Yashiro, R., Na-anant, P. & Dumchum, V. (1998). Effect of methyltestosterone and 17 alpha-hydroxyprogesterone on spermatogenesis in the black tiger shrimp, *Penaeus monodon* Fab. In Flegel, T. W. (Ed.), *Advances in shrimp biotechnology*. National Center for Genetic Engineering and Biotechnology, Bangkok.

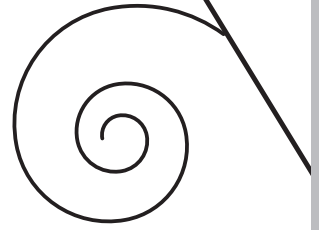


Capítulo II

Procesos erosivos costeros en el caribe sur de Costa Rica: un aporte desde el laboratorio de recursos naturales y vida silvestre

Lilliana María Piedra Castro¹
Marco Antonio Ramírez Vargas²

-
- 1 Es Coordinadora del Laboratorio de Recursos Naturales y Vida Silvestre, Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional, Costa Rica. <https://orcid.org/0000-0003-4878-1531>
 - 2 Es investigador asociado al Laboratorio de Recursos Naturales y Vida Silvestre, Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional, Costa Rica. <https://orcid.org/0000-0001-8502-982X>.



Introducción

La costa caribeña de Costa Rica se extiende por un poco más de 200 km. Aunque en términos de extensión puede considerarse pequeña, esta lluviosa región es una de las más diversas del país tanto ambiental como socialmente. Desde la desembocadura norte del río San Juan y hasta Sixaola al Sur, se encuentran bosques anegados, manglares, bosques tropicales, yolillales, llanuras de inundación, lagunas costeras, playas arenosas, arrecifes coralinos y pastos marinos. De igual manera, esta región es hábitat de variada fauna silvestre como el majestuoso jaguar, dantas, águilas, serpientes, infinidad de anfibios, murciélagos, manatíes e innumerables artrópodos, moluscos y corales.

Tal y como pasa a escala ambiental, la dimensión cultural desarrollada en el Caribe es igualmente diversa. Esta región ha sido y es hogar de una variedad de grupos étnicos y sociales. Desde los pueblos originarios como los Maleku y Bribri, hasta los afrodescendientes, antillanos y europeos, asiáticos, “mezizos” y otros. Todos desarrollaron aquí diferentes modos de vida que, en conjunto, han ido conformando la identidad de la nación costarricense.

En términos económicos, el Caribe costarricense es también fundamental para el desarrollo nacional. En la costa de Moín, en Limón, se encuentran los mayores puertos marinos comerciales, que comunican a Costa Rica principalmente con Europa. Por esta ruta, entra y sale la mayor cantidad de mercancías, tanto consumidas como producidas en el país. Por otra parte, esta región

tiene unos de los destinos turísticos más importantes del país. Datos del Instituto Costarricense de Turismo (ICT) indican que, durante el 2021, el Parque Nacional Cahuita tuvo una visitación de 122 389 personas, mientras que el Parque Nacional Tortuguero reportó un total de 107 763 personas. Las cifras anteriores pueden ajustarse a un promedio aproximado de 10 200 y 9000 visitantes por mes para cada una de estas Áreas Silvestres Protegidas y sus comunidades asociadas, respectivamente.

A pesar de la destacada importancia que tiene esta región para el país, también aqueja una serie de situaciones y problemas. Datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2022) revelan que todos los cantones con presencia en la zona costera caribeña tienen un nivel muy bajo de desarrollo de acuerdo con el Índice de Desarrollo Humano Cantonal (IDHC). Este índice contempla los niveles de educación, desigualdad de género, salud e ingresos alcanzados por la población de cada uno de los cantones del país. Para la región Caribe, el valor promedio es de 0.73 para el 2019 (debajo de la media nacional); a modo de comparación el cantón de Santa Ana en San José registró ese año el mayor IDHC (0.93). La situación anterior, entremezclada con la compleja y delicada diversidad ambiental, destaca la vulnerabilidad de esta región y llama a tomar acción por parte del Estado, especialmente ante el escenario de cambio global que aqueja al planeta.

Desde la Universidad Necesaria: El Laboratorio de Recursos Naturales y Vida Silvestre



Desde su propia fundación, la Universidad Nacional cimentó su vocación “como institución especializada en el estudio de los problemas y técnicas del desarrollo real y equilibrado de la sociedad nacional (...)” (Núñez, 1974). Desde esta visión, en 1985, surgió el Laboratorio de Recursos Naturales y Vida Silvestre (LARNAVISI) como ente generador de conocimiento para el bienestar nacional, mediante la investigación de temas ambientales actuales.

El LARNAVISI es un laboratorio altamente especializado, el cual genera investigación inédita a la vez que brinda capacitación y asesoría técnico-académica en el análisis e interpretación de información biológica. Toda esta actividad de investigación y extensión contribuye con la generación de conocimiento para la conservación y uso sostenible de los recursos naturales y la formulación de pautas, directrices y políticas de manejo para la biodiversidad costarricense.

Específicamente, en el Caribe costarricense, el LARNAVISI se caracteriza por un alto nivel de vinculación con esta región. Esto se hace evidente al repasar algunas de las diferentes investigaciones y proyectos que se han generado y/o facilitado desde el laboratorio, por ejemplo: "Caracterización de la respuesta de las comunidades locales a la influencia directa de la variabilidad climática en el Caribe Sur de Costa Rica" (Piedra *et al.* 2019); "Especies exóticas: el caso del pez león (complejo *Pterois volitans/miles*) en Costa Rica" (Piedra *et al.* 2018); "Mortalidad masiva del pez tamboril *Canthigaster rostrata* (Tetraodontiformes: Tetraodontidae) en el Caribe Sur de Costa Rica con observaciones sobre su relación con cambios ambientales marinos" (Ramírez-Vargas, Castillo y Piedra 2022), "Arribo masivo de sargazo (*Sargassum natans*) a la costa del Caribe Sur de Costa Rica durante el 2022" (Piedra y Ramírez-Vargas 2022); "Estrategia de manejo de los recursos marinos y costeros del Caribe Sur para la adaptación a la variabilidad climática" (Piedra-Castro *et al.* 2018); "Atractivos turísticos naturales en el sector Gandoca, Refugio Nacional Mixto de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo" (Rojas *et al.* 2016); "Metodología para la cuantificación de carbono en bosques de manglar" (Piedra y Sierra 2014); "Manual de buenas prácticas para el cultivo de palma aceitera en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Barra del Colorado" (Ramírez *et al.* 2017); "Manual de Buenas Prácticas Ambientales para la Producción Ganadera dentro y fuera del Refugio Nacional de Vida Silvestre Barra del Colorado" (Piedra *et al.* 2017); "Reflexiones y Observaciones para el manejo participativo en Refugios Nacionales de Vida Silvestre basado en las experiencias del Refugio Nacional de Vida Silvestre Barra del Colorado" (Arias-Guzmán *et al.* 2017).

Erosión costera en el Caribe sur de Costa Rica: Una preocupación para el LARNAVISI

Lo que queda de playa es casi nada, apenas el mar se alza, no hay playa, la marea baña todo (...) no queda playa como antes...

Aquiles Rodríguez.
Comunidad de Gandoca, Limón.
Fuente: delfinocr.com

La erosión de playas arenosas resulta del balance negativo entre la entrada y salida de sedimentos (de diferente naturaleza) de la playa, lo cual produce un cambio morfológico de la línea de costa, que es percibido como un retroceso en la línea de costa (Masselink, 2012). Este balance negativo puede ser generado por una amplia variedad de causas, entre las que se encuentran los cambios en el uso del suelo de las cuencas, cambios en el viento, oleaje, el patrón de las tormentas o el aumento del nivel del mar.

Este cambio en la costa, especialmente en comunidades vulnerables como son las de la costa Caribe del país, tiene severas implicaciones socioeconómicas y ambientales. Específicamente en términos sociales, el cambio acelerado en la línea de costa impacta el ordenamiento territorial. Torna necesario realizar cambios en los trazos de carreteras, caminos y pistas de aterrizaje, la movilización de asentamientos urbanos, presión sobre los sistemas de alcantarillado y tanques sépticos, salinización de acuíferos, pérdida de bienes inmuebles, entre otros.

Así mismo, el impacto paisajístico que genera la erosión costera repercute sobre el escenario turístico. Por ejemplo, para el año 1995, el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) reportaba hasta 50 sitios para acampar en la zona de puerto Vargas (Cahuita), los cuales para el 2015 dejaron de existir. También, el cambio rápido de la costa limita los espacios disponibles para la anidación de tortugas marinas. Estos animales son clave para el desarrollo de comunidades locales, las

cuales se han organizado para crear experiencias turísticas alrededor de este fenómeno, lo cual genera así recursos económicos.

El LARNAVISI se ha preocupado por el fenómeno de erosión costera y ha tomado acciones para entenderlo y dar herramientas para su atención. Desde el 2010, se identificó que muchas playas del Caribe son afectadas por procesos erosivos. Esta alerta se dio inicialmente, al observar que la vegetación costera empezaba a tener cada vez más expuestas sus raíces. Fue así como, para el año 2013, arrancó el proyecto “Indicadores ambientales en ecosistemas marinos y costeros para la definición de estrategias de conservación y manejo en dos áreas protegidas en el Caribe Sur de Costa Rica”. Este proyecto desarrolló diversas metodologías para evaluar indicadores que permitieran entender los procesos que afectaban los ecosistema marino-costeros, entre ellos; los de erosión costera.

En el año 2015, se desarrolló un indicador de porcentaje de erosión costera que forma parte de los indicadores de cambio climático del Observatorio Ambiental de la UNA; el cual ha mantenido un monitoreo constante de más de siete años. En el año 2016, inició el proyecto “Erosión costera en el Caribe Sur de Costa Rica: impacto eco sistémico y vulnerabilidad social” en conjunto con la Escuela de Ciencias Geográficas. Este proyecto analizó el impacto ecosistémico y la vulnerabilidad social ante la dinámica de la línea de costa en el Caribe Sur de Costa Rica, para el desarrollo de propuestas de acción comunitarias basadas en un enfoque de manejo adaptativo. Desde el año 2018, se desarrolló el proyecto regional “Evaluación del Impacto del Cambio Climático en las costas arenosas del Caribe: alternativas para su control y resiliencia” con 10 países de la región y el apoyo de la Asociación de Estados del Caribe.

Principales resultados desde la investigación y extensión:

Biofísicos: Entre 2012 y 2015, se observó que en Puerto Viejo y Vizcaya se presentó el mayor ancho promedio de la playa mientras que en Manzanillo y Gandoca fue menor. En tanto que, el 25.24 % de los sitios (8) mostraron indicios de erosión. El

ancho del escarpe varió de 3.90 m hasta 43.70 m y el alto entre 15 y 70 cm. En 87.5 % de las playas la arena de las dunas fue de textura mediana y el restante, fina. Se contabilizaron un total de 283 árboles o arbustos de 11 familias y 11 especies (Piedra, Castillo y Morales 2021).

Con respecto a los años anteriores, en el 2020, el indicador de puntos de erosión permitió observar que Puerto Vargas fue el lugar con mayor cantidad de puntos erosivos, este llega a valores por encima del 90 %. Ese mismo año, Gandoca, Playa Estrella y Vizcaya sobrepasaron el 20 % de estos datos. La tendencia general de este periodo fue menor al 60 % de los puntos con signos erosivos. Para el año 2017, se mantuvo la tendencia, sin embargo, playa Estrella fue la que obtuvo los valores más altos, mientras que Vizcaya, Playa Negra, Puerto Viejo, Manzanillo y Gandoca incrementaron la cantidad de puntos con valores entre un 5 % y un 9 % del total de sitios evaluados (Castillo, Piedra y Morales 2021). En el 2018, solo playa Negra experimentó una leve reducción en el indicador, en contraste con todos los demás lugares que, por el contrario, mantuvieron su tendencia al incremento erosivo. Finalmente, en el análisis del año 2019 se destaca el comportamiento de Puerto Vargas y Gandoca, nuevamente con los valores más altos del indicador, con cifras que alcanzaron el 90 % (Castillo, Piedra y Morales 2021).

En cuanto a la vegetación que se ubicó sobre la duna, se destaca que en promedio las alturas oscilan entre 4 y 14 metros. Se destacan dos bloques de este tipo de vegetación, siendo el sector de Vizcaya, Playa Negra y Playa Estrella, los que alcanzan los valores más bajos en promedio. Mientras que, hacia el Sur las formaciones vegetales corresponden más a la estructura de un bosque con alturas que están por encima de los 12 metros (Castillo, Piedra y Morales 2021). Tanto las formaciones vegetales que se encuentran en Cahuita, Puerto Vargas, Puerto Viejo y Manzanillo experimentaron reducción de la altura entre los períodos de análisis, lo que denota que su tendencia se direcciona hacia la pérdida de vegetación emergente de mayor antigüedad, por lo que la estructura como tal podría estar variando como resultado del ingreso de agua de mar. Este hallazgo denota que el desplazamiento de la línea costera por procesos erosivos está influyendo de manera certera sobre la vegetación barrera que se posiciona sobre la duna (Castillo, Piedra y Morales 2021).

Dichos cambios pueden incidir en el desplazamiento de especies de fauna que utilizan estos lugares como sitios de anidación, refugio y alimentación. Esta es una situación que autores como Miller (2015) han concluido. El disturbio ambiental que ocasiona esta variación altera no solo la distribución de la vegetación, sino que afecta la estructura de las dunas y, por lo tanto, incide en la capacidad de retención del sedimento que queda atrapado entre las plantas que colonizan estas áreas (Castillo, Piedra y Morales 2021).

La información obtenida contribuye de manera efectiva para el estudio de la dinámica de las dunas costeras de las playas arenosas del Caribe Sur, las cuales además de ser incipientes son poco estudiadas, por lo que aún existen vacíos de información que impiden su adecuada protección y manejo. De igual forma, es un insumo más que demuestra el avance del mar hacia el continente y las consecuencias que tiene este evento sobre los ecosistemas continentales costeros.

En cuanto a biodiversidad marina, las densidades de herbívoros y carnívoros según la clasificación de bio-indicadores se encuentran en una situación crítica. La sedimentación (proveniente del continente y de los procesos erosivos costeros) es un problema que está causando la degradación lenta del arrecife de coral, el aumento de macroalgas en el ecosistema y la migración de especies de peces con limitada capacidad de adaptarse a las nuevas condiciones (López, 2021). En esta misma localidad, se demostró que existe relación entre la abundancia de cangrejos presentes en la playa con procesos erosivos: las especies *Ocypode quadrata* y *Uca thayeri* mostraron preferencia por las zonas no erosionadas. Entre los factores abióticos que influyen en la abundancia de cangrejos se encuentran la pendiente en la zona intermareal con procesos erosivos y la temperatura en los sitios sin procesos erosivos. Estos factores son determinantes en el aporte de alimentos y su alteración puede modificar la red trófica y reducir la resiliencia del ecosistema. Además, las características morfológicas de la playa, como el ancho de playa, determinan la abundancia de las especies de cangrejos.

Otro indicador de erosión son las esponjas marinas. En el Parque Nacional Cahuita, Puerto Viejo, Punta Uva y Manzanillo, se reportaron 13 nuevos registros de esponjas, son las especies más abundantes *N. erecta*, *I. felix*, *I. birotulata* y *S. ruetzleri*.

Los epibiontes no fueron comunes y fueron asociados a la disponibilidad de alimento. Los competidores potenciales fueron principalmente macroalgas de los géneros *Dictyota*, *Amphiroa* y tapetes algales. El movimiento del agua y la cantidad de materia orgánica en suspensión (incluyendo la arena proveniente de los procesos erosivos costeros) influyeron en la estructura comunitaria, la sedimentación y la disponibilidad de sustrato son las que determinan la estructura y cobertura de la comunidad de esponjas (Araya, 2017).

Sociales: Desde el componente de extensión, se ha trabajado en el fortalecimiento de capacidades del personal técnico del laboratorio. En este sentido, se ha participado en cursos internacionales sobre dinámica y erosión costeras, así como de sedimentología. A la vez, se ha participado en congresos internacionales y nacionales, y se han compartido experiencias con investigadores de diversas partes del mundo que investigan sobre el tema. Hemos incorporado el tema en los cursos de la carrera de Biología y Enseñanza de las Ciencias, así como talleres de formación en técnicas de medición sedimentológicas para sensibilizar a los futuros profesionales en la temática. Se ha trabajado también con la Asociación de Estados del Caribe en el proyecto de playas arenosas.

Como parte de la proyección social, se planteó la “Estrategia de manejo de los recursos marinos y costeros del Caribe Sur para la adaptación a la variabilidad climática” que emplea los resultados de investigaciones y entrevistas aplicadas para generar este producto (Piedra-Castro *et al.*, 2018). A la vez, se diseñó una propuesta de pautas para la conservación de especies ícticas en los arrecifes coralinos del Parque Nacional Cahuita. Estas pautas se desarrollaron con los resultados del Taller “Propuestas de acciones de manejo y conservación de las especies ícticas del arrecife coralino”, que pretendía la construcción participativa de acciones de manejo y conservación. En este taller, participaron ocho actores clave, representantes de la asociación de desarrollo integral y guías de turismo. El sector pesquero no tuvo representación por los cierres de carretera u otras causas, al igual que los guardaparques del Parque Nacional Cahuita, como resultado de contagios por covid 19.

Así mismo, se trabajó en el diseño de pautas de manejo para la conservación de la comunidad de cangrejos excavadores en Puerto Vargas mediante la aplicación de entrevistas y la validación de estas propuestas de acciones, se presentaron al consenso de las propuestas de las entrevistas durante el taller virtual con los funcionarios del área y el consejo local, en donde se identificó, de manera conjunta, los pro y los contras de cada acción y las prioridades dinámicas de su abordaje tomando en cuenta una visión ecosistémica. También se plantearon pautas para el monitoreo de las esponjas arrecifales según las particularidades y necesidades ecológicas de este grupo.

Líneas a futuro

1. Manejo y gestión integrada de zona costera. El problema de la erosión costera se relaciona con las actividades humanas y ha cambiado el paisaje; ocasiona efectos en las zonas costeras, en las comunidades y actividades productivas (la pesca, el turismo y la maricultura). La generación de conocimiento sobre el manejo integral de las zonas costeras del Caribe que contribuye estratégicamente para maximizar la capacidad institucional.
2. Efectos de la erosión costera sobre la biodiversidad marina y costera. La biodiversidad responde de formas que estamos aprendiendo a descubrir ante los cambios en el paisaje de la costa. Es necesario conocer cómo responden y cómo las comunidades se ordenan para equilibrarse en los múltiples desequilibrios que genera la erosión costera.
3. Erosión costera en las áreas silvestres protegidas. Los cambios que sufren los elementos focales de manejo como consecuencia de los procesos erosivos costeros es un tema que requiere ser atendido desde la investigación. Las áreas protegidas son fundamentales para la economía del país, por lo que es fundamental entender estos efectos.

Lecciones aprendidas

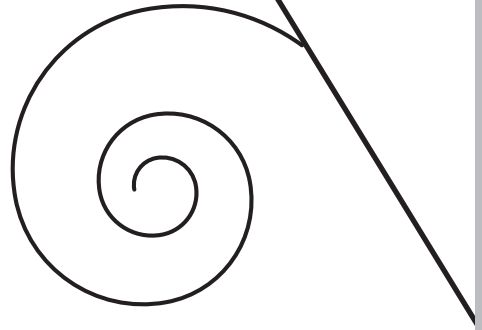
1. Planificación debe realizarse a largo plazo. Debemos empezar a planificar considerando periodos de entre 30 o 50 años, dado que los paisajes costeros están cambiando constantemente como resultado del cambio climático. Además, esta planificación necesita ser realizada desde el manejo adaptativo para que sea suficientemente flexible en aras de responder a nuevos posibles escenarios.
2. Participación sectorial es fundamental. El trabajo con las instituciones gubernamentales y sociales en las áreas afectadas es fundamental para generar confianza en la forma en que enfrentamos el problema. Acercarse a los actores locales, construir estrategias y planes consensuados entre actores y trabajar en el componente de implementación.
3. Trabajar a favor del ambiente. Favorecer los procesos naturales aumenta la efectividad de las acciones de investigación y gestión, promoviendo la búsqueda de soluciones basadas en la naturaleza que permitan la adaptación de los espacios naturales y las especies.
4. Evaluaciones de largo plazo. Debemos apostar como país a mantener monitoreo a largo plazo de los efectos del cambio climático en las zonas costeras. Esta información que se genere es un insumo fundamental para la planificación y el manejo adaptativo. Así mismo, es un mecanismo para retroalimentar y fortalecer la planificación sectorial y para la toma de decisiones de manejo enfocadas en las soluciones basadas en la naturaleza.

Bibliografía

- Arias-Guzmán, M., Bonilla-Sánchez, S., Calvo-González, S., Cruz-Siles, A., Herrera-Quesada, E., Kikuchi, T., Morales-Cerdas, V., Osawa, M., Rojas-Bolaños, L., y Soto-Vargas, L. 2017. Reflexiones y Observaciones para el manejo participativo en Refugios Nacionales de Vida Silvestre basado en las experiencias del Refugio Nacional de Vida Silvestre Barra del Colorado. Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC)-Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA). Guápiles, Costa Rica. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/328867371_Reflexiones_y_Observaciones_para_el_manejo_participativo_en_Refugios_Nacionales_de_Vida_Silvestre_basado_en_las_experiencias_del_Refugio_Nacional_de_Vida_Silvestre_Barra_del_Colorado
- Castillo-Chinchilla, M.; Piedra-Castro, L. y Morales-Cerdas, V. 2021. Informe final Permiso de Investigación R-SINAC-PNI-ACLAC-023-2020 Exp. Dig. N.º M-PC-SINAC-PNI-ACLAC-023-2020 Indicadores ambientales en ecosistemas costeros del Caribe Sur de Costa Rica. Mimeo.
- Instituto Costarricense de Turismo (ICT). 2022. Cifras turísticas. Recuperado en agosto del 2022 de: <https://www.ict.go.cr/es/estadisticas/cifras-turisticas.html>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). 2022. Atlas de desarrollo humano cantonal. Recuperado en agosto del 2022 de: <https://www.undp.org/es/costa-rica/atlas-de-desarrollo-humano-cantonal-2021>
- Miller, T. 2015. Effects of disturbance on vegetation by sand accretion and erosion across coastal dune habitats on a barrier island, *AoB PLANTS*, 7: 1-10. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plv003>
- Núñez, B. 1974. Hacia la Universidad necesaria.
- Piedra, L. & M. Ramírez-Vargas. 2022. Arribo masivo de sargazo (*Sargassum natans*) a la costa del Caribe Sur de Costa Rica durante el 2022. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* (en prensa).
- Piedra-Castro, L., Castillo-Chinchilla, M., & V. Morales-Cerdas, V. 2021. Caracterización de las playas arenosas del Caribe Sur de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 34(3), pp. 120-133. <https://doi.org/10.18845/tm.v34i3.5197>

- Piedra Castro, L., Hernández Zanuy, A. C., Sierra Sierra, L. M., Pereira Chávez, J. M., Castillo Chinchilla, M., & Morales Cerdas, V. 2019. Caracterización de la respuesta de las comunidades locales a la influencia directa de la variabilidad climática en el Caribe Sur de Costa Rica. *Posgrado y Sociedad*. Revista Electrónica del Sistema de Estudios de Posgrado, 17(1), 21-41. <https://doi.org/10.22458/rpys.v17i1.2489>
- Piedra Castro, L., Hernández Zanuy, A. C., Sierra Sierra, L. M., Pereira Chávez, J. M., Castillo Chinchilla, M., & V. Morales Cerdas, V. 2019. Caracterización de la respuesta de las comunidades locales a la influencia directa de la variabilidad climática en el Caribe Sur de Costa Rica. *Posgrado y Sociedad*, Revista Electrónica del Sistema de Estudios de Posgrado, 17(1), 21-41. <https://doi.org/10.22458/rpys.v17i1.2489>
- Piedra-Castro, L.; Hernández-Zanuy, A.; Sierra-Sierra, L.; Pereira-Chávez, J.; Castillo-Chinchilla, M. y Morales-Cerdas. 2018. Estrategia de manejo de los recursos marinos y costeros del Caribe Sur, Costa Rica, para la adaptación a la variabilidad climática. En: Hernández-Zanuy A. C. (Ed.). Adaptación basada en Ecosistemas: alternativa para la gestión sostenible de los recursos marinos y costeros del Caribe. Red CYTED 410RT0396. (E. Book). Editorial Instituto de Oceanología, La Habana. 171 pp. ISBN: 978-959-298-043-3.
- Piedra-Castro, L.; Hernández-Zanuy, A. C.; Sierra-Sierra, L. M.; Pereira-Chávez, J. M.; Castillo-Chinchilla, M. y Morales-Cerdas, V. 2018. Estrategia de manejo de los recursos marinos y costeros del Caribe Sur, Costa Rica, para la adaptación a la variabilidad climática. En: Hernández-Zanuy A. C. (Ed.). Adaptación basada en Ecosistemas: alternativa para la gestión sostenible de los recursos marinos y costeros del Caribe. Red CYTED 410RT0396. (E. Book). Editorial Instituto de Oceanología, La Habana. 171 pp. ISBN: 978-959-298-043-3. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/10068>
- Piedra-Castro, L.; Castillo-Chinchilla, M.; Sierra-Sierra, L.; Morales-Cerdas, V.; Pereira-Chávez, J.; Méndez-Solano, R.; Ríos-Duarte, R.; Sánchez-Paniagua, K. y Araya-Vargas, A. 2018. Especies exóticas: el caso del pez león (complejo *Pterois volitans/miles*) en Costa Rica. 24-258 pp. En: INVAVET. (2018). Humedales tropicales, especies invasoras y salud. Red temática INVAVET 2015-2018 del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, CYTED (Madrid-España), 456 pp. www.invawet-cyted.org

- Piedra C., L.; Orozco A., M.; Ramírez M., F.; Castillo Ch., M.; Morales-Cerdas, V. y Luna M. S. 2017. Manual de Buenas Prácticas Ambientales para la Producción Ganadera dentro y fuera del Refugio Nacional de Vida Silvestre Barra del Colorado (RNVS Barra Del Colorado), Limón, Costa Rica. Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC)-Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA). Guápiles, Costa Rica. 54 p. Disponible en <http://www.sinac.go.cr/ES/partciudygober/Manual%20Sistematizacion/Manual%20de%20Buenas%20Pr%C3%A1cticas%20Ambientales%20para%20la%20producci%C3%B3n%20ganadera%20el%20RNVS%20BCGS%20Final.pdf>
- Piedra Castro, L. y Luis Sierra Sierra. 2014. Metodología para la cuantificación de carbono en bosques de manglare, pp. 232-249. Hernández-Zanuy A. C. y Alcolado P. M. (eds). 2014. Métodos para el estudio de la biodiversidad en ecosistemas marinos tropicales de Iberoamérica para la adaptación al cambio climático. Red CYTED 410RT0396. E. Book. Instituto de Oceanología, La Habana. 272 p.
- Ramírez-Vargas, M., Castillo, M. & L. Piedra. 2022. Mortalidad masiva del pez tamboril *Canthigaster rostrata* (Tetraodontiformes: Tetraodontidae) en el Caribe Sur de Costa Rica con observaciones sobre su relación con cambios ambientales marinos. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras (en prensa)*.
- Rojas-Jiménez, K.; Rodríguez-Rojas, N.; Piedra-Castro, L. 2016. Atractivos turísticos naturales en el sector Gandoca, Refugio Nacional Mixto de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo. Tecnología en Marcha. Tecnología en Marcha. Vol. 29, N.º 3, pp. 159-168. DOI: <http://dx.doi.org/tm.v29i3.2895>.
- Ramírez, M. F.; Piedra C., L.; Morales-Cerdas, V. y Orozco A., M. 2017. Manual de buenas prácticas para el cultivo de palma aceitera en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Barra del Colorado, Costa Rica. Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC)-Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA). Guápiles, Costa Rica. 32 p. Disponible en <https://www.sinac.go.cr/ES/partciudygober/Documents/MAPCOBIO/Manual%20de%20Buenas%20Pr%C3%A1cticas%20Agr%C3%ADcolas%20y%20Ambientales%20para%20el%20cultivo%20de%20palma%20aceitera%20en%20el%20RNVS%20BC.pdf>
- Masselink, G. (2012). Coasts. En J. Holden, An introduction to Physical Geography and the Environment (3ª ed., p. 876). London: Pearson Education Limited.

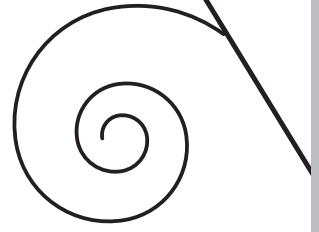


Capítulo III

Servicios ecosistémicos de las abejas y su impacto en la conservación ambiental

Luis Alejandro Sánchez Chaves¹,
Rafael A. Calderón²,
Johan W. Van Veen³,

-
- 1 El M.Sc. Luis Alejandro Sánchez Chaves obtuvo su posgrado en la Universidad de Utrecht, Holanda. En el Programa Tropical Bees and Beekeeping in Tropical Climates. Es coordinador del Programa de Ecología y Polinización y de la Maestría en Apicultura Tropical del CINAT-UNA, en donde además es docente.
 - 2 El Dr. Rafael A. Calderón llevó a cabo estudios de Medicina Veterinaria en la Universidad Nacional, Costa Rica. Posteriormente, realizó su Maestría y Doctorado en la Universidad de Utrecht, Holanda. Desde su llegada al CINAT-UNA en 1997, como profesor-investigador en el campo de Patología Apícola, ha orientado sus proyectos de investigación al estudio de las enfermedades que afectan a las abejas.
 - 3 El Dr. Johan W. Van Veen estudió Biología en la Universidad de Utrecht, Holanda, donde obtuvo su Doctorado en 1999. Ha laborado en el CINAT desde 1990 como experto en abejas tropicales, estudia temas tan diversos como la biología reproductiva de las abejas sin aguijón, el efecto de la variabilidad climatológica sobre las floraciones melíferas y su impacto en la producción apícola y el manejo agro-ecológico de colmenas.



Introducción

Las abejas constituyen el grupo de polinizadores más importante de la flora nativa y de los cultivos agrícolas. Mediante los servicios ecosistémicos, son las responsables de la reproducción de una amplia diversidad de plantas y cultivos. “En el Centro de Investigaciones Apícolas Tropicales (CINAT), como parte de la misión histórica, se ha generado y divulgado conocimiento esencial para comprender su rol vital e incidir en su conservación y manejo sostenible. Mediante el estudio de las abejas, sus productos y aplicaciones, se ha propiciado el desarrollo e innovación de la apicultura y meliponicultura como actividades de importancia ecológica y socioeconómica en el país y a nivel internacional” (CINAT, 2022).

Servicios ecosistémicos de las abejas y su impacto en la Conservación Ambiental

El Centro de Investigaciones Apícolas Tropicales (CINAT), es un instituto interdisciplinario adscrito a la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar (FCTM), de la Universidad Nacional (UNA), especializado en el estudio de las abejas, sus productos y aplicaciones. A su vez, mediante la investigación, docencia, extensión, vinculación externa y la prestación de servicios, genera, divulga

y comparte conocimientos para la conservación de las abejas. Además, promueve el desarrollo e innovación de la apicultura (actividad con abejas melíferas) y la meliponicultura (actividad con abejas nativas), como actividades de importancia ecológica y socioeconómica en el país y a escala internacional. La generación de estos conocimientos tiene intrínseco ponderar la función que tienen estos insectos, esencialmente por los valiosos servicios ecosistémicos asociados a la polinización que brindan a las plantas silvestres, así como a cultivos agrícolas de interés comercial. Dichos servicios son de suma importancia para la conservación ambiental, la seguridad alimentaria y la salud pública.

El CINAT se concibió en un inicio con una función principal, desarrollar la apicultura y la meliponicultura en el país, bajo principios de desarrollo sostenible y sustentabilidad. En la justificación para la creación del instituto se consideraron el estudio de dos problemas principales: el proceso de africanización de las colmenas de abejas melíferas (inició en 1983) y los factores biológicos limitantes para el desarrollo de la meliponicultura con las abejas nativas sin aguijón.

Como antecedente histórico, “se estima que la apicultura en Costa Rica con abejas de origen europeo, *Apis mellifera*, comenzó a finales del siglo XIX. Durante las primeras décadas del siglo XX esta actividad se mantuvo en constante crecimiento, llegando a su mayor nivel productivo en la década de los setenta del siglo pasado, con exportaciones significativas de miel al mercado europeo y estadounidense. Las abejas de origen africano, llamadas africanizadas (*Apis mellifera scutellata*), ingresaron a Costa Rica en 1983” (Arce, 1984, p. 10). El principal impacto del proceso de africanización sobre las colmenas establecidas fue el aumento de su comportamiento defensivo. Esta característica obligó a muchos apicultores a abandonar la actividad y a los que permanecieron en ella, a realizar cambios drásticos en las técnicas y equipos utilizados para el manejo, con la consiguiente disminución de la producción de miel y el aumento en los costos de producción (Spivak *et al.*, 1991, p. 146).

A partir de 1985, la producción de miel y otros productos de la colmena disminuyeron drásticamente, al igual que el número de colmenas y apicultores, quienes se ubicaban en el rango de medianos y pequeños productores. El mayor impacto del ingreso de la abeja africanizada, fue sobre la notable disminución en el número de colmenas, el cual fue especialmente fuerte

y dramático en los proyectos productivos familiares, los cuales desaparecieron casi en su totalidad. Actualmente, Costa Rica es un país importador de miel, lo cual influye en el desarrollo y la sostenibilidad de la actividad apícola, así como en la calidad de la miel que se importa y se consume en el país (Van Veen y Arce, 1993). Otro aspecto interesante, derivado de la biología de las abejas africanizadas, ha sido su alta tasa reproductiva mediante la formación de enjambres, dicha característica permitió una amplia colonización de los diferentes ecosistemas tropicales, lo cual derivó en un mayor uso de los recursos florales y por ende, su incidencia en incrementar los servicios ecosistémicos de polinización. Aunque también se ha discutido en el CINAT, su posible repercusión ecológica, por ejemplo, las posibles interacciones de competencia y disminución de recursos a largo plazo para las abejas nativas.

Por otra parte, la meliponicultura, realizada con las abejas nativas sin aguijón (Apidae, Meliponini), ha sido una actividad tradicional, que ha tenido un gran arraigo cultural en el país, la cual fue practicada por ciertas etnias como los chorotegas, hue-tares y bruncas. Estos grupos mantenían sus colonias en troncos huecos y realizaban un nivel de manejo básico. Actualmente, la meliponicultura se ha continuado practicando en la zona rural, como una actividad económica a escala familiar, se utiliza para su manejo cajas modernas de madera, o se mantiene la tradición de uso en troncos huecos de árboles, los que se cuelgan en aleros de casas o galerones en las fincas. El CINAT, en cooperación con la Universidad de Utrecht, Holanda, ejecutó varias fases de un proyecto de carácter regional (PRM-PRAM) para estudiar los factores biológicos y técnicos que tenían incidencia en esta actividad. Se estudió la biología de diferentes especies, en aspectos como reproducción, comportamiento, pecoreo, constancia floral, desarrollo de las colonias y alimentación, entre otros. También se estudiaron aspectos relacionados al diseño de cajas para algunas especies, como la *Melipona beecheii* y la *Tetragonisca angustula*, con el propósito de facilitar y adecuar el manejo, la multiplicación de los nidos y la extracción racional de miel, así como evitar la incidencia de ciertas plagas oportunistas en las colonias.

Otro factor al que se prestó mucha atención fue el estudiar e identificar las plantas que suministran alimento para ambos tipos de abejas, tanto las melíferas como las nativas sin aguijón. Para este propósito se utilizó como metodología los análisis

palinológicos, las observaciones directas en flores, el registro de la visitación y preferencias de colecta, la constancia floral, las estrategias de pecoreo, la herborización de material vegetal, la consulta a especialistas curadores de herbarios, en especial del herbario Juvenal Valerio Rodríguez de la Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional (Biesmeijer *et al.*, 1999; Slaa *et al.*, 2003; Barrantes *et al.*, 2019).

Para incidir en ambas actividades productivas, tanto la apicultura como la meliponicultura, ha sido vital comprender el rol que cumplen las abejas en la naturaleza, sus interrelaciones con las plantas y su impacto en el ecosistema, así como su importancia en el desarrollo rural comunitario, los emprendimientos productivos y las empresas agroproductivas. Como parte de esta función y en procura de contar con una formulación estratégica interna, en el instituto se definieron para el quinquenio 2017-2021, tres áreas estratégicas cognitivas de desarrollo que incluyen: 1- Biología, conservación y uso sostenible de las abejas; 2- Innovación y competitividad de la apicultura y la meliponicultura; 3- Cambio climático y manejo integral de las abejas. Dichas áreas estratégicas permean toda la acción sustantiva que se ejecuta en el CINAT, desde los programas, proyectos y actividades académicas, la cual tienen como finalidad impactar a los diferentes grupos meta, a saber, estudiantes, productores y público en general interesado en las abejas y sus interrelaciones con el medio ambiente (Figura 1).

Figura 1.

Atención a grupo meta de apicultores acorde a resultados obtenidos producto de la acción sustantiva generada en el CINAT.



Fuente: *Van Veen, 2021.*

Es indudable que las abejas son un grupo de insectos vitales para el mantenimiento de la vida en el planeta, especialmente por los servicios ecosistémicos de polinización que ellas promueven, los cuales permiten que las plantas con flor se reproduzcan, formen frutos y semillas y de esta forma se perpetúen. Para los ecosistemas tropicales, las abejas son consideradas como el grupo polinizador más importante en términos de biomasa y cantidad de plantas que se benefician de este vital servicio. Además, para el ser humano, la relación de las abejas con las plantas y con las flores hace posible la obtención de otros beneficios como los productos primarios: miel, polen y propóleo, los cuales son importantes en términos económicos, culturales, sociales y tienen incidencia en aspectos como la seguridad alimentaria, la cosmología y la salud.

La relación mutualista de interdependencia entre las abejas y las plantas ha sido motivo de varios estudios realizados desde el

CINAT, fue así como una obra de gran impacto por su valor científico y utilidad para los productores ha sido el libro: Árboles Melíferos Nativos de Mesoamérica, el cual fue concebido mediante una amplia revisión de literatura especializada y enriquecida con una serie de datos generados en el Instituto, a partir de estudios palinológicos de la flora melífera de Costa Rica, tanto de plantas utilizadas por las abejas africanizadas, como por las abejas nativas sin aguijón. Además, se incluyó información muy valiosa aportada por apicultores y meliponicultores, así como los aportes realizados por especialistas del Herbario Juvenal Valerio Rodríguez, de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional. Estas contribuciones de trabajo colaborativo interdisciplinario constituyen una característica distintiva de gran parte de las investigaciones que se realizan en el CINAT (Arce *et al.*, 2002).

Es importante resaltar que un eje transversal en los objetivos de los programas académicos del instituto ha sido desde su creación, la conservación de las abejas, por su gran importancia como polinizadores (Figura 2).

Figura 2.

*Abeja nativa sin aguijón de la tribu Meliponini, importantes polinizadores del cultivo endémico del Valle Central Tacaco, *Sechium tacaco**



Fuente: Sánchez, 2021.

Diferentes trabajos de investigación recientes en esta área se han efectuado con un abordaje interdisciplinario, con la colaboración de investigadores de otros institutos de la UNA, por ejemplo, con el Instituto de Investigaciones y Servicios Forestales (INI-SEFOR), se han estudiado aspectos de la ecología de las abejas en diferentes tipos de bosques, y mediante el análisis palinológico de cientos de muestras se ha demostrado la gran relación entre las plantas, especialmente árboles y las abejas polinizadoras en los diversos ecosistemas. La riqueza de esta visión interdisciplinaria se ha visto acentuada con la participación de especialistas del Instituto de Conservación y Vida Silvestre (ICONVIS), en proyectos conjuntos colaborativos con académicos del CINAT, para evaluar aspectos como la abundancia y la riqueza de las poblaciones de abejas en corredores biológicos y su impacto ecosistémico en los servicios de polinización y la interconexión subyacente que pueden promover estos vectores en las áreas de conservación estudiadas (Barquero, *et al.*, 2019).

Con la incorporación de estudiantes (grado y posgrado) para realizar su trabajo final de graduación provenientes de la Escuela Ciencias Agrarias, la Escuela de Biología, la Escuela de Ciencias Ambientales, la Universidad de Utrecht (Holanda), la Universidad de Costa Rica, el Instituto Tecnológico de Costa Rica, la Universidad Estatal a Distancia, la EARTH, el CATIE y de la Maestría en Apicultura Tropical (MAT-CINAT), se comprobó la importancia y el potencial de las abejas en la polinización de algunos cultivos como el tomate, la mora, el aguacate, el melón y el café, entre otros. Como se indicó, los estudiantes de la MAT, como parte de su proceso de formación, también han sido esenciales por sus aportes con sus trabajos de investigación, los cuales se insertan como actividades formativas dentro de los programas académicos del CINAT, con especial énfasis en los trabajos finales de graduación. De esta forma, han desarrollado algunos temas relevantes asociados a la conservación de abejas y a su importancia ambiental. Por ejemplo, en estudios sobre colecta y de recursos florales utilizados por las abejas, conservación de abejas en zona urbana, origen botánico de mieles, árboles hospederos de nidos de abejas sin aguijón, control de plagas y enfermedades apícolas mediante métodos alternativos no contaminantes, educación ambiental con el modelo abeja, etc. Recientemente, bajo la coordinación del Dr. Gordon Frankie de la Universidad de Berkeley en California, varios investigadores del CINAT, así como

una estudiante graduada de la MAT, participaron como coautores en la publicación del libro *Abejas de Costa Rica*. Este libro ofrece un panorama integral sobre la diversidad, la historia natural y la conservación de abejas de Costa Rica, las cuales, tal como lo indican los autores, se destacan por mantener una relación simbiótica con las flores y por preservar el planeta (Hanson *et al.*, 2021). Otro libro referente para los estudiosos de las abejas sin aguijón y su importancia ambiental, en el que participaron investigadores del CINAT y que fue publicado por la editorial Springer es la obra: *Pot-Honey a legacy of stingless bees*. En dicho libro, se dio un aporte trascendental de los investigadores del CINAT, sobre las propiedades medicinales y el efecto antimicrobiano de las mieles de abejas sin aguijón, asociadas a su origen botánico y a la biología de las abejas nativas. Es importante recalcar, nuevamente, el trabajo interdisciplinario en la concepción de este libro y el aporte que se brindó desde diferentes áreas de especialización y de formación profesional, concebido mediante una red colaborativa a escala mundial, con aportes en el tema de la taxonomía, composición de mieles, conservación de abejas y mitigación de impactos antropogénicos, propiedades del propóleo, evaluación sensorial de mieles, entre otros (Vit *et al.*, 2013).

Por otro lado, en el libro *Apicultural Research on Varroa (Original research on bees and beekeeping in the 21st Century)*, se incorporó un capítulo sobre la biología reproductiva del ácaro varroa en abejas africanizadas en condiciones tropicales, con lo cual se rescata la importancia del estudio de este ácaro en diferentes líneas de abejas, especialmente en la abeja africanizada, la cual presenta una mayor resistencia o tolerancia al ácaro *Varroa destructor* en comparación con abejas de tipo europeo. Esta tolerancia se ha relacionado con ciertos factores, como el comportamiento higiénico de las abejas, el comportamiento de limpieza y sobre todo la reproducción del ácaro en cría de obrera. Lo anterior, con la finalidad de seleccionar abejas tolerantes a varroa y con esto reducir la población de ácaros en las abejas, disminuir la aplicación de acaricidas químicos a las colmenas y de esta manera evitar la presencia de residuos en la miel (Calderón *et al.*, 2007).

Por los múltiples reportes de apicultores y observaciones directas de las personas investigadoras del instituto y científicos internacionales, el CINAT identificó como grandes amenazas para las poblaciones de las abejas: (1) el uso desmedido de plaguicidas,

especialmente el Fipronil, los Neonicotinoides y el Glifosato, (2) la pérdida del hábitat y (3) los efectos cada vez más impactantes de la variabilidad climática. Desde la época de los años 70, investigadores como el Dr. Gordon Frankie (Berkeley) y el Dr. Álvaro Wille (UCR) alertaron sobre la disminución en la abundancia de abejas y la pérdida local de especies en forma alarmante.

Mediante varios proyectos en conjunto con el Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET) y con el proyecto Salud Apícola Latam-2020, Fraunhofer Chile, se ha estudiado la presencia de plaguicidas en la miel y en otros productos de la colmena en abejas melíferas (polen: pan de abeja) y en colmenas de abejas sin aguijón, con lo cual se mostró claramente la presencia de diferentes insecticidas y herbicidas en concentraciones subletales, así como ocasionalmente la presencia de residuos de antibióticos o tratamientos contra plagas de otros animales domésticos que emplean algunos apicultores en sus colmenas de manera artesanal (preparaciones caseras). Solamente en los últimos tres años se ha reportado la pérdida de colmenas por el uso indebido de Fipronil, confirmado por el Servicio Nacional de Salud Animal (SENASA, Ministerio de Agricultura y Ganadería). A esto podemos sumar la pérdida no cuantificada y el debilitamiento de colmenas que son utilizadas en la polinización de cultivos a gran escala, como el melón y la sandía o que están ubicadas en las cercanías de arrozales y plantaciones de aguacate. Las pérdidas de las abejas nativas debido al uso de plaguicidas no han sido cuantificadas, pero reportes como los de G. Frankie (Frankie *et al.*, 2009) demuestran claramente que en algunas regiones de Guanacaste, la pérdida de especies de abejas y la gran disminución con más de un 50 %, es alarmante y similar a la situación en otros países donde hay datos disponibles (Hallman *et al.*, 2017).

Desde el año 2012, el CINAT ha estudiado los efectos que tiene la variabilidad climática sobre las principales floraciones de importancia para la apicultura y las abejas nativas sin aguijón (Van Veen, 2018). Los primeros datos reflejan una alteración en el periodo de floración de muchos árboles, cuando se presentan sequías debido, por ejemplo, a los efectos del ENOS (El Niño Oscilación Sur). Las sequías afectan no solo el periodo de floración, sino también la calidad del polen y la cantidad del néctar disponible para las abejas. Los apicultores reportan durante estos años una disminución en la producción de miel de un 30 % hasta 50 %. Basado en los datos, se ha desarrollado

una estrategia de apoyo, en la cual, mediante talleres a las asociaciones de apicultores, se ha divulgado información sobre el manejo específico que puedan implementar para contrarrestar los efectos de las sequías, como parte de un manejo integrado, que tiene como fin iniciar la época de producción (en la estación seca) con colmenas sanas y vigorosas, para aprovechar las floraciones iniciales. Las abejas nativas se caracterizan en su mayoría por tener un ciclo biológico muy ligado a las floraciones y con una alta especificidad, es decir, dependen muchas veces en gran medida de algunas plantas específicas, por ejemplo, para el almacenamiento de reservas de polen. Las alteraciones en los patrones de floración podrían tener un gran impacto en sus ciclos biológicos que impiden su reproducción o disminuyen su éxito reproductivo (Van Veen, 2018; Van Veen, 2019).

Las abejas sociales, que son las abejas que viven en colonias, se reproducen por enjambres, lo cual normalmente se da al inicio de la época de las floraciones. El enjambre posteriormente requiere de un periodo de establecimiento y crecimiento para almacenar suficientes reservas para mantenerse y sobrevivir el periodo de escasez (época lluviosa). Al adelantarse muchas de las floraciones y presentarse durante la ejambrazón una floración con menos néctar y polen de una calidad deficiente, se pone en riesgo su supervivencia. Además, las colmenas que sufren de estrés por las sequías y un estado deficiente en su alimentación, podrían estar más propensas a sufrir en mayor medida de enfermedades, como la varroosis.

Para contribuir a la conservación de las abejas, el CINAT posee injerencia en la política pública en diferentes formas, además de contar con actividades de educación ambiental para apicultores y el público en general. En proyectos ejecutados con Fundecooperación, GIZ y PNUD, se han implementado cursos y capacitaciones, y se ha hecho énfasis en la conservación de las abejas y su uso sostenible, con lo cual se indica la importancia ecológica de las abejas, se desarrollan temas sobre la no extracción de colonias de la naturaleza, sino en propagar y adquirir nidos exclusivamente de especies domesticadas. También se crea conciencia sobre no movilizar colonias de abejas sin aguijón desde sus sitios naturales de distribución a otras áreas donde no se encuentran, se recomiendan plantas nativas para reforestar con interés melífero. Además, se apoya la iniciativa de algunos diputados y en colaboración con la Cámara Nacional de Fomento de

la Apicultura, se ha logrado que más de la mitad de los cantones en el país se han declarado “Cantón Amigo de las Abejas”. El CINAT mantiene comunicación con estas municipalidades y ofrece apoyo a las actividades que implementan para lograr un ambiente más amigable para las abejas, entre otras, se promueven acciones para disminuir el uso de plaguicidas en espacios públicos, la instalación de “hoteles para abejas” y la siembra de plantas melíferas. Otra iniciativa de algunos diputados, la Cámara Nacional de Fomento de la Apicultura y el CINAT, fue la declaratoria por decreto del 20 de Mayo, como día nacional de las abejas, en correspondencia a las Naciones Unidas con el día internacional de estas. Ha sido un día para informar al público en general sobre la importancia de estos insectos, tanto por el papel que juegan en la naturaleza como por su importancia en la seguridad alimentaria, la oportunidad para que las personas hagan ciencia ciudadana y realicen conteos de abejas en su comunidad, resultados que pueden ser muy valiosos para estimar la condición de las poblaciones de abejas en el orden local y para que las personas se identifiquen aún más con su protección (Figura 3).

Figura 3.

*Abeja sin aguijón *Trigona fulviventris* visitando flores de *Aloe vera* en conteos realizados en el día mundial de las abejas.*



Fuente: Van Veen, 2022

Algunas egresadas de la Maestría en Apicultura Tropical se unieron al esfuerzo de académicos del CINAT, y con el apoyo de estudiantes de la Escuela de Informática, implementaron en sus proyectos componentes de educación ambiental sobre las abejas, entre ellas una aplicación (App) para teléfonos móviles, "Abejas en mi jardín", dirigida especialmente a niños en la edad escolar, donde puedan aprender en forma de un juego sobre las abejas. Los cursos abiertos al público en general que implementa el CINAT, como "aprenda con la U pública", "el curso de apicultura para principiantes" y la feria de la miel Expo-miel, son otros buenos ejemplos del esfuerzo por sensibilizar a la comunidad nacional de todas las edades.

Otras acciones de sensibilización han tenido un impacto positivo en la atención de enjambres de abejas melíferas en zonas urbanas. Anteriormente, por una situación de salud pública, los bomberos atendían los enjambres y prácticamente la única estrategia utilizada era por medio de su exterminio con una solución de agua jabonosa a presión, primando la salud de las personas. Resultado de esta situación, se externó una creciente preocupación por la afectación que producía esta forma de controlar los enjambres y que afectaba la conservación de las abejas. Debido a lo anterior, el CINAT brindó cursos y actividades de capacitación a diferentes unidades de bomberos y se les instruyó sobre cómo a realizar los rescates de enjambres en forma amigable y que estos pudiesen ser utilizados por apicultores en sus apiarios.

Para potenciar la crianza y conservación de las abejas nativas sin aguijón, el CINAT desarrolla diferentes proyectos de investigación sobre las propiedades medicinales y antioxidantes de las mieles y los propóleos (resinas que las abejas colectan en plantas). Al no contar aún con un mercado formal debidamente reglamentado, el CINAT considera muy importante desarrollar e investigar la calidad y propiedades de los productos que estas abejas pueden ofrecer. Las investigaciones han mostrado sobremano el gran potencial que ofrecen algunas mieles y propóleos de diferentes especies de las abejas sin aguijón, por su gran poder antibacteriano, para ser utilizadas en medicamentos. Estudios químicos y microbiológicos de los laboratorios de Química Apícola y Microbiología y Química Medicinal del CINAT han comprobado que algunas mieles pueden inhibir el crecimiento de bacterias hasta diez veces más eficiente que la miel de las abejas melíferas, incluida la conocida miel medicinal de manuka de

origen neozelandés. Además, en diferentes ensayos se demostró que algunas de las mieles contienen una proteína única, que tiene la capacidad de destruir la capa (biofilm) que forman grupos de bacterias resistentes a los antibióticos en su alrededor para protegerse, y las hace nuevamente susceptibles a estos medicamentos, así se potencia con estas mieles la medicina moderna (Zamora *et al.*, 2015; Zamora *et al.*, 2017).

El abordaje del CINAT de las necesidades de los grupos meta con enfoque de género ha permitido desde una perspectiva multidisciplinaria (agronomía, química, veterinaria, microbiología, biología, entomología y sociología) ser un instituto líder para Costa Rica y un referente para la región centroamericana, con lo cual se ha innovado en aspectos de manejo, gestión empresarial basada en equidad, y se da un valor agregado a la producción, se diversifica el mercado con alimentos de alta calidad y productos de cuidado personal y cosméticos de excelencia, con potencial de exportación.

El vínculo con los grupos meta y la sociedad ha sido pilar transcendental para la acción sustantiva que promueve el instituto. Por ejemplo, se ejecutó un proyecto con el apoyo de Fundecooperación muy exitoso, denominado, "Desarrollo de una apicultura sostenible con perspectiva de género en la región Central Sur de Costa Rica". En dicho proyecto se dio la integración colaborativa del CINAT con el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y el Instituto Nacional de Aprendizaje (INA), para atender las necesidades de desarrollo apícola de 11 asociaciones ubicadas en los cantones de Puriscal y Turrubares (Región Central Sur) (Calderón *et al.*, 2007).

El objetivo principal del proyecto "fue contribuir al desarrollo sostenible del sistema productivo apícola, mediante una apropiada transferencia de tecnología en el manejo de colmenas, control integrado del ácaro varroa el cual fue detectado en Costa Rica en 1997" (Calderón *et al.*, 1998), producción de reinas mejoradas y gestión empresarial, complementado con la aplicación de técnicas en la conservación y reproducción de plantas melíferas" (Calderón *et al.*, 2010, p. 25). Lo anterior para que las organizaciones incrementaran de manera eficiente la producción y comercialización de sus productos, para mejorar las condiciones de vida de las apicultoras dentro de un marco de equidad de género. (Calderón *et al.*, 2007).

Dentro de los beneficios e impactos del proyecto, se estableció que la Región Central Sur de Costa Rica experimentaba

problemas diagnosticados de degradación de los recursos: flora, suelo, agua y fauna. Por medio de este proyecto, se inició un proceso de sensibilización en el campo ambiental para lograr la recuperación de los recursos bióticos de la zona. Este proceso tomó en cuenta acciones relacionadas con la restauración de la flora apícola local y la educación ambiental, mediante actividades de capacitación de las apicultoras sobre la importancia de este recurso para el mejoramiento del medio ambiente. La presencia de abejas melíferas en la zona contribuyó en forma decisiva al aumento en los servicios ecosistémicos de polinización, que aportan a los árboles y plantas melíferas, lo cual favorece su reproducción y conservación. Además, el manejo tecnificado de las colmenas incidió en la conservación de la api-fauna, al disminuir la deforestación e incidentalmente favorecer la nidificación de las abejas en los árboles de la zona.

Respecto al impacto social: "se realizaron acciones para el fortalecimiento de la capacidad de organización, gestión y liderazgo de los grupos involucrados. Asimismo, se mejoró las destrezas y habilidades de las apicultoras mediante un proceso de capacitación, que comprendió las principales fases de la cadena agroproductiva (Figura 4). A su vez, contribuyó a incrementar la cantidad y calidad del empleo, asignando tareas, roles y responsabilidades en función de la actividad productiva. Rescatando con ello, la participación activa del núcleo familiar en la apicultura, rompiendo con los paradigmas establecidos, donde la mujer asumió un papel relevante en los procesos de dirección, liderazgo y desarrollo de la actividad, favoreciendo su empoderamiento. Además, de un desarrollo incipiente de zonas rurales marginales de nuestro país (Puriscal - Turrubares) impulsando la perspectiva de género" (Calderón *et al.*, 2010, p. 30).

Figura 4.

*Participación de la mujer en la actividad apícola.
Integrante del grupo ASOMUPROSGA, preparando
el ahumador para revisar las colmenas.*



Fuente: Calderón, 2004

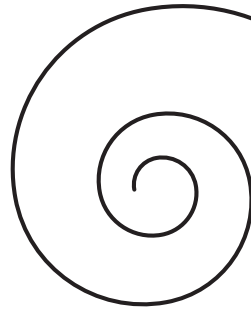
En lo referente al control integral del ácaro varroa, el cual se desarrolla desde el Programa Integrado de Patología Apícola del CINAT, se logró una reducción de su incidencia en las colmenas de una manera no contaminante, mediante la sustitución de productos químicos, como los organofosforados y piretroides, por tratamientos biológicos y orgánicos, como la eliminación de la cría de zángano y el uso del timol (sustancia natural derivada de la planta del tomillo). Se debe enfatizar que el control integrado de enfermedades con productos alternativos reduce la contaminación ambiental y la presencia de residuos nocivos en la miel (producción limpia). Para lo cual, se desarrolló una mayor conciencia sobre el riesgo que representa para las abejas el uso de productos químicos en los apiarios. Todo lo anterior, con la finalidad de realizar un control adecuado y oportuno del ácaro varroa y al mismo tiempo evitar la contaminación de la colmena, sus productos y el ambiente, favoreciendo así un modelo de conservación integral y uso sostenible de los recursos (Calderón, 2000).

Bibliografía

- Arce, H. (1984). Algunos aspectos sobre la abeja africanizada y su tecnología de manejo. *Boletín de Capacitación Apícola*, N° 2.
- Arce, H. G., Sánchez, L.A., Slaa J., Sánchez-Vindas, P. E., Ortiz. A., Van Veen, J. W., Sommeijer M. J. (2002). Árboles melíferos nativos de Mesoamérica. Herbario Juvenal Valerio Rodríguez, UNA, Heredia.
- Barquero, A., Aguilar, I., Méndez, A., Hernández, G., Sánchez, H., Montero, W., Herrera, E., Sánchez, L., Barrantes, A., Gutiérrez, M., Mesén, I., Bullé F. (2019). Asociación entre abejas sin Aguijón (Apidae, Meliponini) y la flora del bosque seco en la región norte de Guanacaste, Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 53 (1), 70-91.
- Barrantes, A., Sánchez, L. A., Hernández, G., Montero, W. (2019). Principales plantas de importancia alimenticia para la abeja nativa sin aguijón *Trigona fulviventris* (Guérin-Méneville) en Pocosol, Guanacaste, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kuru*, 16(38), 70-91.
- Biesmeijer, J. C., Smeets, M., Richter, J. A. P., Sommeijer, M. J. (1999). Nectar foraging by stingless bees in Costa Rica: botanical and climatological influences on sugar concentration of nectar collected by *Melipona*. *Apidologie*, 30, 43-55.
- Calderón, R. A., Arce, H. G., Van Veen, J. W. (1998). Detección, distribución y control de *Varroa jacobsoni* Oudemans en Costa Rica. *Ciencias Veterinarias*, 21, 29-38.
- Calderón, R. A., Ortiz, R. A., Sánchez, L. A., Lalama, K. (2000). Control del ácaro *Varroa jacobsoni* en abejas melíferas (*Apis mellifera*) bajo condiciones tropicales. *Ciencias Veterinarias*, 23, 45-55.
- Calderón, R. A., Sánchez, L. A., Ramírez, J. F. (2007). Resultados y perspectivas del proyecto apícola: Desarrollo de una apicultura sostenible en la Región Central Sur de Costa Rica. *Notas Apícolas*, 13(01), 12-19.
- Calderón, R. A., Sommeijer, M. J., Ruijter, A. de, van Veen, J.W. (2007). The reproductive ability of *Varroa destructor* in worker brood of Africanized and hybrid honey bees in Costa Rica (capítulo de libro). In Jones, S.; Martin, S. (eds.), *Apicultural Research on Varroa (Original research on bees and beekeeping in the 21st Century)*, IBRA, UK.

- Calderón R. A., Sánchez, L. A., Ramírez, J. F. (2009). Desarrollo sostenible del sistema productivo apícola como una alternativa para el mejoramiento del entorno rural en los cantones de Puriscal y Turrubares. *Revista Apicultura sin Fronteras*, 43, 6.
- Calderón, R. A., Sánchez, L. A., Ramírez, J. F. (2010). Desarrollo de una apicultura sostenible, con perspectiva de género, en la Región Central Sur de Costa Rica. Casos ganadores del concurso Experiencias innovadoras de apoyo a actividades económicas de mujeres rurales de Centroamérica. RUTA-CDR, 24-35.
- CINAT. (02 de noviembre de 2022). Misión y Visión del Centro de Investigaciones Apícolas Tropicales. <http://www.cinat.una.ac.cr/en/news/munen-mision-vision>
- Frankie, G., Rizzardi, M., Vinson, S., Griswold, T. (2009). Decline in Bee Diversity and Abundance from 1972-2004 on a Flowering Leguminous Tree, *Andira inermis* in Costa Rica at the Interface of Disturbed Dry Forest and the Urban Environment. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 82, 1-20. 10.2317/JKES708.23.1.
- Hallmann, C.A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., et al. (2017). More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLOS ONE*, 12(10). e0185809. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>
- Hanson, P. E., Fernández, M., Lobo, J., Frankie, G., Coville, R., Aguilar, I., Acuña, M., Herrera, E. (2021). *Abejas de Costa Rica*. Editorial UCR, San Pedro.
- Slaa J., Ayco, J. M., Sommeijer, M. J. (2003). The effect of intrinsic and extrinsic factors on flower constancy in stingless bees. *Apidologie*, 34 (5), 457-468.
- Spivak, M., Fletcher, J. C., Breed, M. D. (1991). *The "African" Honey Bee*. Westview, USA.
- Van Veen, J. W., Arce, H. (1993). Situación actual y perspectivas de la Apicultura en Costa Rica. Memorias Tercer Congreso Nacional de Apicultura. San José, Costa Rica.
- Van Veen, J. W. (2014). La Meliponicultura como Actividad Complementaria en la Ganadería de Traspatio y su Importancia para la Seguridad Alimentaria. Memorias del IV Foro Internacional de Ganadería de Traspatio y Seguridad Alimentaria, Campeche, México.

- Van Veen, J. W. (2018). Impacto del cambio climático sobre las abejas sin aguijón *Melipona beecheii*. Memorias del XI Congreso Mesoamericano sobre Abejas Nativas. La Antigua, Guatemala.
- Van Veen, J. W. (2018). Pollination by bees as an economically important factor for tropical beekeeping. NECTAR, Proceedings, Utrecht, The Netherlands.
- Van Veen, J. W. (2018). Perspectives for Pollination in Tropical Beekeeping. Memorias del Simposio The Role of Bees in Food Production, APIMONDIA, Addis Abeba, Etiopía.
- Van Veen, J. W. (2019). El efecto del cambio climático sobre los recursos florales y la producción de miel. *Notas Apícolas*, 64-65.
- Vit, P., Silva, R. M. P., Roubik, D. (eds.). (2013). *Pot-Honey A legacy of stingless bees*. Springer New York, NY.
- Zamora, L. G., Beukelman, K., van den Berg, B., Arias, M. L., Umaña, E., Aguilar, I., Quarles van Ufford, L., van den Worm, E., Fallas, N., Solórzano, R. (2015). The antioxidant and immunomodulatory activity of stingless bee honeys proceeding from Costa Rica. *Oxidants and Antioxidants in Medical Science*, 4 (1), 49-55.
- Zamora, L. G., Beukelman, C. J., van den Berg, A. J. J., Aerts, P., Quarles van Ufford, L., Nijland, R., Arias, M. L. (2017). An insight into the antibiofilm properties of Costa Rican stingless bee honeys. *Journal of Wound Care*, 26 (4), 168-177.

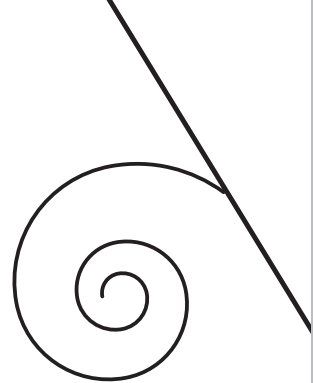


Capítulo IV

Legado académico del ICOMVIS a América Latina y su camino hacia la innovación

Joel C. Sáenz¹,
Carlos Espinoza Marín²,
Laura Porras Murillo³,
Mónica Retamosa Izaguirre⁴,
Víctor Montalvo Guadamuz⁵,

-
- 1 Joel C. Sáenz es M.Sc. y especialista en manejo y conservación de vida silvestre. Es profesor de posgrado en el Instituto Internacional en Conservación y Manejo de Vida Silvestre (ICOMVIS) de la Universidad Nacional desde hace 25 años. En la actualidad es el Director del ICOMVIS.
 - 2 El M.Sc. Carlos Espinoza Marín es un biólogo y manejador de vida silvestre, pero sobre todo es un profesional “multienfoque”.
 - 3 La Dra. Laura Porras Murillo obtuvo el Bachiller en Biología Tropical, la Licenciatura en Manejo de Recursos Naturales y la Maestría en Conservación y Manejo de Vida Silvestre en la Universidad Nacional, Costa Rica. Posteriormente, se graduó en el Doctorado en Ecología con énfasis en Conservación de Biodiversidad en el Colegio de la Frontera Sur, México.
 - 4 La Ph.D. Mónica Retamosa Izaguirre es Licenciada en Ciencias Biológicas, Universidad de la República, Uruguay; Máster en Conservación y Manejo de Vida Silvestre, Universidad Nacional, Costa Rica; y Ph.D. en Ciencias de Vida Silvestre, Purdue University, USA. Académica del ICOMVIS, Universidad Nacional y coordinadora del Laboratorio TELESIG.
 - 5 El M.Sc. Víctor Montalvo Guadamuz es académico del Instituto Internacional en Manejo y Conservación de Vida Silvestre (ICOMVIS), egresado de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional. Realizó una maestría en Conservación y Manejo de Vida Silvestre dentro de la misma institución, y posteriormente concluyó sus estudios doctorales en Conservación Ambiental con Énfasis en Manejo de Vida Silvestre y Peces en la Universidad de Massachusetts Amherst.



Un poco de historia

En octubre de 1984, en la ciudad de Panamá se realizaba una importante reunión que marcaría un hito en la formación de profesionales de posgrado en el manejo y conservación de la vida silvestre, no solo para la región mesoamericana, sino para el resto de Latinoamérica. Esta reunión fue auspiciada por el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos (USFWS, por sus siglas en inglés) y el Fondo Mundial para la Naturaleza, sección USA (WWF-USA, por sus siglas en inglés), a dicha reunión asistieron los directores y/o jefes de las distintas agencias gubernamentales de Centroamérica y República Dominicana relacionadas con la gestión del recurso de vida silvestre en cada uno de los países, directa o indirectamente, y también contó con la participación de un académico (Craig MacFarland) del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y otro (Chris Vaughan) de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional (EDECA) (Vaughan s.f.). Es importante resaltar que en Costa Rica para esa fecha desde la década de los 70, ya contaba con un Servicio de Parques Nacionales y los departamentos de Vida Silvestre y Refugios de Vida Silvestre dentro de la estructura del Ministerio de Agricultura y Ganadería, entidades que posteriormente convirtieron en lo que hoy conocemos como el Sistema de Áreas de Conservación (SINAC) como una dependencia del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) (Asamblea Legislativa, 1997, Corrales, 2014). En ese sentido, Costa Rica estaba un paso adelante de las naciones de Centroamérica y el Caribe en la gestión de la vida silvestre.

Es importante señalar que la reunión en Panamá tuvo un antecedente muy importante que se gestó en la ciudad de Managua, Nicaragua, en julio de 1978, donde se llevó a cabo la primera reunión regional centroamericana sobre vida silvestre. Entre los objetivos planteados durante esta reunión se analizaron formas óptimas de conservación, recuperación y aprovechamiento de la vida silvestre de la región centroamericana, además de discutir el estado actual de la flora y fauna silvestre de la región. Evaluar los factores negativos que estaban afectando la vida silvestre en la región, además de conocer las entidades y personas que trabajan con el manejo de vida silvestre fue primordial. Así como evaluar la situación de las especies de vida silvestre que se encontraban en peligro o proceso de extinción para buscar acciones correctivas y diseñar estrategias para futuras políticas y métodos con el fin de afrontar el deterioro del recurso, a escala regional y nacional (Morales *et al.*, 1978). Como se nota, para ese año ya había preocupación en lo que estaba pasando en la región con el recurso de vida silvestre, principalmente su deterioro. Por esta razón, el evento estaba enfocado en especies amenazadas y en peligro de extinción, el tráfico de especies, pérdida de hábitat, legislación insuficiente, etc. Entre las importantes recomendaciones de esta reunión fue: "la formación del personal idóneo para el adecuado manejo de la fauna, debe llevarse a cabo a la mayor brevedad posible, utilizando para este fin el entrenamiento en servicio, cursos cortos y estudios formales de pregrado y postgrado" (Morales *et al.* 1978).

Volviendo a la reunión en Panamá, lo que se discutía era la creación del Programa Regional en Manejo Silvestre para Mesoamérica y el Caribe (PRMVS), además esta albergaría una maestría en manejo de la vida silvestre para toda la región. La razón de crear esta maestría fue que en toda Latinoamérica no existía una oferta académica a este nivel. Por lo general, los profesionales latinoamericanos que querían obtener un posgrado en el campo de manejo o conservación de vida silvestre tenían que ir a estudiar a Norteamérica y Europa; sin embargo, no todos tenían esa posibilidad, principalmente por lo costoso de los estudios o por el idioma. Después de varias rondas de discusión, los directores de estas agencias gubernamentales y otras personas involucradas, decidieron que la sede de esta moderna maestría estaría en Costa Rica, de esta manera la maestría en manejo de vida silvestre se convirtió en la primera de su género

en América Latina (Vaughan s.f.). Las razones para decidir que fuera Costa Rica la sede de la maestría se tuvieron en cuenta, el nivel de la investigación costarricense sobre vida silvestre y la estabilidad política y social-económica del país. La Maestría en Manejo de Vida Silvestre fue el nombre con la que se creó, el nombre cambió a partir de 1996 a Manejo y Conservación de Vida (MACOMVIS) y para efectos prácticos, en el resto del texto nos referiremos a la MACOMVIS como la maestría académica del ICOMVIS indistintamente.

Decidido el país sede de la maestría, el paso siguiente fue decidir la institución en Costa Rica que albergaría dicho posgrado. En este sentido, dos instituciones fueron la seleccionadas, El CATIE y EDECA. Las credenciales del CATIE fueron que ya tenía la Unidad de Áreas Silvestres Protegidas, sección que se encargaba de la capacitación de funcionarios y profesionales de América Latina en el manejo de áreas silvestres protegidas, además de contar con la cátedra "Kenton Miller" que era un foco de discusión sobre áreas protegidas de Latinoamérica. La EDECA, por su parte, estuvo representada en estas reuniones por el académico Chris Vaughan, quien dirigía el Laboratorio de Fauna Silvestre, laboratorio que desde 1976 se dedicaba a investigar aspectos del manejo y conservación de fauna silvestre, además de contribuir con los cursos de la carrera de Ingeniería Forestal de la EDECA.

Finalizadas las reuniones y consultas y, además de escucharse los argumentos de ambas instituciones, Herb Raffaele, el encargado del USFWS para el hemisferio occidental y quien organizó y dirigió estas discusiones, decidió que la UNA fuese la sede de la maestría. A partir de esta decisión, en la EDECA se crea El Programa Regional en Manejo de Vida Silvestre para Mesoamérica y el Caribe (PRMVS) en 1985, que se dedicaría a la investigación en manejo y conservación de la vida silvestre, además de desarrollar un plan de estudios de una maestría académica. El peso de esta labor recaería sobre Chris Vaughan, quien coordinó este proceso durante los primeros años, adicionalmente Vaughan se encargó de buscar los profesores para la maestría, ya que en esa época había muy pocos profesionales en este campo en Costa Rica. A partir de la década de los 90, la maestría comenzó a incorporar profesores costarricenses, quienes previamente se habían graduado del ICOMVIS, que posteriormente obtuvieron el grado académico de Ph. D. (doctorado) en universidades extranjeras, principalmente en los Estados Unidos. Junto con los profesores

costarricenses y algunos extranjeros que ya laboraban en la EDE-CA, se formó la planta de profesores de la maestría, lo cual enriqueció a la maestría con nuevas visiones de la disciplina de conservación y manejo. En 2005, el PRMVS se convirtió en lo que hoy conocemos como el Instituto Internacional en Conservación y Manejo de Vida Silvestre (ICOMVIS), con lo cual se continuaron así los pasos y la filosofía de su predecesor el PRMVS.

Inicio de la maestría en Conservación y Manejo de Vida Silvestre (MACOMVIS)

La MACOMVIS fue creada en parte bajo los principios del manejo de vida silvestre y el enfoque teórico de la biología de la conservación, que es una disciplina científica de síntesis, también llamada disciplina de crisis, que se consolidó en la década de 1980 como respuesta a la pérdida de biodiversidad (Simberloff, 1988); sin embargo, también incorpora los aspectos fundamentales del manejo de la vida silvestre, con lo cual sigue la escuela norteamericana (Bailey, 1984). Esta disciplina se ocupa de estudiar las causas de la pérdida de diversidad biológica en todos sus niveles (genética, individual, específica, ecosistémica) y de cómo minimizar esta pérdida. La biología de la conservación se ocupa también de la gestión de la naturaleza y la biodiversidad de la Tierra con el objetivo de proteger las especies, sus hábitats y los ecosistemas de tasas excesivas de extinción y de la erosión de las interacciones bióticas (Soulé, Wilcox y Bruce 1980, Soulé a, b, 1986), integrando contribuciones de disciplinas diferentes que se basan en las ciencias naturales y sociales, tales como la ecología, la genética, la biogeografía, la biología del comportamiento, las ciencias políticas, la sociología, la antropología y la práctica del manejo de recursos naturales (Meffe y Groom 2006, Van Dyke, 2008).

Una de las principales justificaciones para la creación de la MACOMVIS fue que, desde mediados del siglo pasado, América Latina dependía mayormente de la explotación de sus recursos naturales, además de las altas tasas de degradación ambiental y de biodiversidad (Hassan *et al.* 2005). Una respuesta coherente a la crisis de biodiversidad es que la región requería de profesionales

en conservación adicionales a los existentes actualmente. Por esto era estratégico contar con una variedad de profesionales de diferentes formaciones profesionales y capacidades, desde guardaparques hasta técnicos de campo y laboratorio, así como gerentes y directores de nivel superior. Los retos ambientales en América Latina se complican aún más por falta de oportunidades de capacitación en conservación de la biodiversidad, que deben abarcar muchos niveles, audiencias, y contextos (Bonine *et al.* 2003; Rodríguez *et al.* 2005, 2006). Además, de cara al futuro, se necesita evaluar las necesidades particulares y el contexto en términos de establecer prioridades para la expansión de la formación formal y oportunidades en la conservación. En ese sentido, desde su creación la MACOMVIS ha estado cumpliendo ese rol importante de capacitación en posgrado y creemos que lo seguirá cumpliendo en el futuro, con un formato, que describiremos en la sección final del capítulo.

Terminado el proceso de elaboración y creación del plan de estudios, la maestría inicia labores en 1986 y 1987 dio inicio la primera promoción que estuvo constituida por 11 estudiantes, de los cuales el 20 % eran estudiantes costarricenses y el 80 % del resto de Latinoamérica. Este inicio contó con el apoyo financiero del USFWS, proporcionado primero al PRMVS, y luego al ICOMVIS; este apoyo fue tanto para el desarrollo de los cursos de campo de la maestría, como para becas de estudiantes. Dos años después de iniciado el programa de maestría, se unió a la colaboración el Programa de Intercambio Académico Alemán (DAAD, por sus siglas en alemán). El DAAD apoyó con becas a profesionales centroamericanos, apoyo que se ha mantenido hasta el 2022 (Promoción XIX); además, el DAAD apoyó la parte académica con el aporte de profesores alemanes y la subvención a estos profesores, bajo un acuerdo con la UNA donde la universidad pagaba un salario base a este académico y el DAAD el resto de su salario, acuerdo que finalizó en 2008. Durante los tres primeros años de ejecución del programa de maestría, el 70 % de los profesores fueron extranjeros, principalmente estadounidenses, alemanes y un inglés. Del 30 %, dos estadounidenses ya formaban parte del profesorado de la EDECA.

Otro hecho importante después del inicio de la maestría fue la creación del Centro de Documentación e Información Biológica (BIODOC) en 1987. Su creación se justificó debido a que, en aquellos años, existían problemas relacionados con la revisión

y el acceso a la literatura sobre manejo y conservación de vida silvestre en América Latina. Lo anterior principalmente debido al alto costo de las suscripciones a las revistas científicas en este campo y la escasez de bibliotecas especializadas sobre este tema en particular. También existía un acceso limitado al trabajo de colegas en otros países, debido a que dichos trabajos raramente eran publicados o, si lo fueran, aparecían en “literatura gris” (material científico inédito producido por biólogos de vida silvestre latinoamericanos). El BIODOC se creó en 1987 adscrito al PRMVS con financiamiento del USFWS de los Estados Unidos bajo un convenio firmado con la UNA. Este es inaugurado en febrero de 1988, por el presidente de WWF con la presencia del príncipe Felipe Duque de Edimburgo y con la participación de las autoridades universitarias. En 1999, el BIODOC pasó a ser la Biblioteca Especializada de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar (BCTM) adscrita al Decanato de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar, con lo cual amplió su ámbito de especialización con el aporte de todas las unidades de la facultad.

Consolidación, desarrollo y aportes de la MACOMVIS a la conservación de la biodiversidad regional



Como ya se mencionó, la MACOMVIS inició labores en 1986 (primera promoción), con un plan de estudios de 27 meses divididos en IV ciclos de tres meses cada uno y un ciclo de nivelación, ya que se admitían como estudiantes a profesionales del área de recursos naturales en general, y 12 meses dedicados al trabajo de tesis y su sustentación. Los cursos de este primer plan, que eran de naturaleza ecológica, tuvieron un mayor peso; otros cursos como administración, economía aplicada a los recursos naturales, tecnologías geoespaciales, relaciones gente-vida silvestre, entre otros, fueron ofrecidos como optativos para complementar la formación académica. En 1999, se realiza la primera modificación del plan de estudios, incluyeron algunos cursos que fueron optativos como cursos regulares, se eliminaron unos y se fusionaron otros. Posteriormente, en 2007 se realiza la última modificación, donde se incluyen cursos con temas que empiezan a ser

importantes en la disciplina, por ejemplo, ecología del paisaje, temas de investigación social aplicada a la conservación, gestión de la biodiversidad, entre otros.

Entre muchas, dos de las características que han sido reconocidas en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la MACOMVIS hacia sus estudiantes son: la experiencia de aprender con múltiples nacionalidades presentes y basar el aprendizaje en la experiencia en el campo. Se puede afirmar que la MACOMVIS ha logrado insertar en la sociedad profesionales con posgrado académico en el ámbito local, regional e internacional, incluida gran parte de los países de América Latina, Norteamérica, Europa e incluso Asia. Lo anterior demuestra la diversidad de experiencias que posee el ICOMVIS y que ha enriquecido la experiencia formativa de los profesionales de toda la región. Esta exposición a diversos criterios se suma a la capacidad de aplicar lo aprendido en clase en las muy acostumbradas giras de campo del ICOMVIS, ambos aspectos generan una experiencia educativa integral para la vida profesional que, como veremos, es ampliamente reconocida por la población de graduados.

Otras de las características de la MACOMVIS que más han aportado a la vida profesional de las personas graduadas y estudiantes es la experiencia de más de 30 años del posgrado, enriquecida por las experiencias de una legión de estudiantes internacionales, el aprendizaje de los estudiantes en resolver problemas reales en equipo y profesores e investigadores de amplia experiencia académica. Por su parte, el personal académico ha desarrollado gran cantidad de investigaciones y publicaciones relacionadas con el tema de vida silvestre, las cuales han sido plasmadas en diversas revistas científicas nacionales e internacionales de alto impacto. Según las estadísticas de la plataforma académica *Research Gate* (RG Index), dadas a conocer recientemente a través de red institucional, se desprende que el ICOMVIS ocupa el quinto lugar en el puntaje global de producción científica en la Universidad Nacional, pero es la unidad académica de mayor producción científica per cápita en el 2022. Si bien, RG no es una plataforma oficial, es referenciado por la mayoría de las universidades e investigadores alrededor del mundo. Por otro lado, es un hecho innegable que las estadísticas publicadas por esta plataforma son un buen termómetro sobre la productividad (publicación científica) y el impacto de las citas de las publicaciones, lo cual se expresa como un

índice (h-Index), el cual se basa en el conjunto de los artículos más citados del científico (investigador) y el número de citas que ha recibido en otras publicaciones (Hirsch, 2005).

Por lo tanto, muchos de los estudiantes de la maestría se han beneficiado de las investigaciones de calidad que realizan los académicos del ICOMVIS, alrededor del 50 % de estudiantes han realizado sus trabajos de tesis en los proyectos de investigación dirigidos por los académicos del ICOMVIS. Otro componente de la maestría a destacar es la internacionalidad de sus integrantes, donde muchos estudiantes de otras nacionalidades realizaron sus trabajos de investigación (tesis) en su país de origen, replicando modelos y experiencias de Costa Rica, lo cual aporta a la internalización de la maestría. Sin dejar de mencionar que, en la mayoría de estos casos, a los directores o asesores de tesis de la MACOMVIS, se sumaron académicos del país de origen del estudiante. Esto es importante de resaltar porque dicha relación ha generado sinergias con académicos de otros países, sin que medie un convenio de cooperación, siendo esto una manera de dar a conocer el quehacer de la UNA en el ámbito internacional y a la vez de crear alianzas de cooperación entre académicos con perfiles profesionales semejantes.

Debido a este perfil de los académicos y graduados del ICOMVIS ha tenido un fuerte impacto internacional, con la formación de profesionales de otras regiones, así como por mantener estrechos vínculos académicos y/o de cooperación con otros organismos académicos y de investigación del exterior, como el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), Unión Internacional para la Conservación (UICN), Wildlife Conservation Society, Idea Wild, National Geographic Society, University of Massachusetts USA, University of Wisconsin USA, Universidad de Gales Inglaterra, Universidad de Gottingen Alemania, SINAC-MINAET, el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos (USFWS) y el Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD), entre otros. Estos dos últimos han becado a más de 155 estudiantes de posgrado y financiado la realización de investigaciones a escala regional.

En concordancia con lo mencionado anteriormente, varios cursos de la maestría han potenciado la capacidad de investigación de sus estudiantes. Muchos de los cursos del plan de estudios tienen un fuerte componente de trabajo de campo, donde los estudiantes realizan pequeñas investigaciones con todo el

rigor científico, prueba de ello es que muchos de los trabajos de estos cursos terminaron siendo traducidos a publicaciones en revistas científicas de impacto. De igual manera, muchas de las tesis de los estudiantes fueron publicadas en revistas científicas nacionales e internacionales, otras como documentos técnicos fueron utilizadas por tomadores de decisiones gubernamentales y otros actores sociales; sin dejar de lado, la labor de divulgación de resultados de las investigaciones realizadas, tanto en medios de comunicación nacionales, como en comunidades rurales, así como el asesoramiento a los grupos humanos donde los estudiantes realizaron sus investigaciones.

En tiempos actuales, cuando se habla de la internacionalización de la Universidad Nacional, inicialmente el PRMVS y, posteriormente el ICOMVIS, ya concebían esta internacionalización desde sus inicios a mediados de los años 80. Lo anterior dado que la mayoría de sus estudiantes, desde la primera promoción hasta la última, provienen de los diversos países de América Latina. La MACOMVIS, incluso, fue mucho más allá, llevó sus cursos fuera de las fronteras del país. Al respecto se puede mencionar el último curso del pénsium de la maestría llamado "Proyecto Integrado de Investigación y Extensión (PIIE)", este es un curso cuya filosofía es simple: parte del hecho de que, una vez cursado los cursos teóricos de la maestría, el estudiante está en capacidad de dar respuesta a un problema de conservación o manejo de la vida silvestre en cualquier contexto que este ocurre. Este curso atiende a un pedido explícito de diferentes actores de la sociedad, como agencias de gobierno (SINAC-MINAE), asociaciones comunales del país y del extranjero, ONG y sector privado. El resultado final del curso es un estudio con insumos de campo recolectados por los estudiantes, debidamente analizados y transcritos en un documento que es entregado al sector beneficiado, de manera que pueda servir para la toma de decisiones de dichos sectores. Este curso se ha llevado a cabo en países del área como Panamá, Nicaragua y Honduras, donde se atendieron necesidades de agencias gubernamentales, comunidades locales y sector privado de conservación (ONG).

Mencionaremos algunos de los aportes del curso PIIE, tanto a escala internacional como nacional. En Panamá se trabajó con el grupo indígena Nogbe-Buglé del Caribe, esta comunidad gestiona su propio territorio con autonomía, pero sujeta a las leyes panameñas. En 2014, ellos decidieron dedicar gran parte

de su territorio a la conservación de la biodiversidad, para ello el gobierno panameño les solicitó una justificación, solicitaron apoyo al ICOMVIS, y el curso se llevó a cabo en la localidad de río Caña en el Caribe panameño (Alonzo *et al.* 2005). el resultado final fue una evaluación ecológica rápida del sitio, los resultados fueron presentados al gobierno central de Panamá y este hizo la declaratoria de área protegida al sector que solicitó la comunidad Nogbe-Bugle. En Nicaragua, el trabajo se realizó en el Humedal San Miguelito ubicado en las orillas de lago Cocibolca. En este caso, el curso hizo una evaluación del humedal (aspectos bióticos, culturales y socioeconómicos) y apoyó a la comunidad local a la elaboración del formulario-solicitud para presentar a la Convención Ramsar para los humedales, Ramsar solicita como requisito para todo país la declaratoria de área protegida de un humedal de uso comunitario. Estos solo son dos ejemplos del impacto que ha tenido este curso en el manejo y conservación de la fauna silvestre.

En Costa Rica, el curso PIIE, donde mayormente se ha realizado, y el impacto que ha tenido es importante, para la toma de decisiones, para ello citaremos un par de ejemplos de los dos últimos cursos. El primero se realizó en el Corredor Volcán Tenorio-Miravalles, cuya finalidad fue determinar la presencia (*Tapirus bairdii*) y evaluar la conectividad a escala de paisaje en dicho corredor y elaborar un protocolo para el avistamiento de la danta en las áreas privadas, debido a que en toda esta zona del Volcán Tenorio muchas fincas registran la presencia de la danta de manera importante y debido a ello muchas fincas tienen abierto al turismo (Almonte *et al.*, 2021). La administración del Corredor mostró su preocupación sobre la manera de cómo se estaba haciendo este tipo de turismo y solicitó al ICOMVIS un estudio al respecto. El resultado fue un mapa con la conectividad del corredor y los registros de los datos en todo este paisaje; y un manual de buenas prácticas para la observación de dantas (Almonte *et al.*, 2021). Este manual, SINAC lo hizo oficial para ser aplicado en otros sitios donde se dé este mismo tipo de turismo.

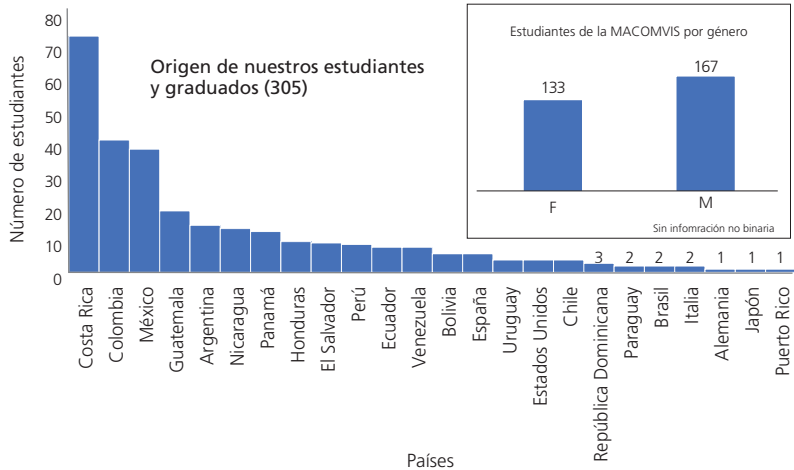
El curso PIIE, realizado el 2021, fue sobre el impacto de la actividad turística y su relación - con la presencia del quetzal resplandeciente (*Pharomachrus mocinno*) en la Reserva Biológica Bosque Nuboso Monteverde (RBBNM), donde se abordó la problemática del quetzal, tanto por la presencia de turistas, así como por la problemática que está ocurriendo con que no

son propios de la RBBNM como el tucancillo, esta ave depreda huevos y polluelos de quetzal, el impacto aún se desconoce (Aranda *et al.*, 2021). Las hipótesis postuladas hasta el momento es que esta especie de tucán propia de las zonas bajas de Guanacaste y Puntarenas ha ampliado su ámbito de distribución y llegado ahora hasta la RBBNM, está aprovechando su condición de invasor para depredar nidos de quetzal. El aporte de esta investigación del curso fue el documentar la depredación, un mapa completo con los avistamientos del quetzal y una relación con las condiciones del bosque de la RBBNM. Entre las recomendaciones se señalan que es importante regular la visitación de turistas, especialmente en senderos donde hay actividad reproductiva del quetzal, así, de esa manera de evitar pérdida por abandono de nido debido al disturbio y ruido que causa la gente, también es necesario implementar de forma más masiva los nidos artificiales, para contrarrestar un poco la depredación causada por el tucancillo y otras especies

Por la maestría han pasado estudiantes de 24 países, especialmente de la región latinoamericana, siendo los países más representados: Colombia, México, Guatemala, Argentina y Nicaragua (Fig. 1). También formaron parte de esta población graduados, aunque en menor número estudiantes provenientes fuera de la región latinoamericana, como España, Italia, Estados Unidos, Alemania y Japón. Del total de graduados a la fecha, el 44 % son mujeres y el 56 % fueron hombres.

Se puede argumentar que el perfil definido para los egresados del posgrado ha respondido a una necesidad de la sociedad, no solo costarricense, sino que también de la sociedad Latinoamericana. Un 90.4 % y un 71 % en dos grupos de egresados encuestados de las promociones XIII a XXIII (grupo 1) y XXIV a la XXVII (grupo 2) respectivamente cuentan con empleo a tiempo completo. La gran mayoría de las personas graduadas se desempeña en los gremios académicos, investigativos y de gestión institucional y de ONG dentro del ámbito del manejo y la conservación de vida silvestre. Esto implica también que la demanda por profesionales ha sido alta desde su inicio. A este aporte específico de la carrera se suma el hecho de que personas graduadas han tenido un gran éxito en el mercado laboral dado que un 90.4 % las personas encuestadas de las promociones XIII a XXIII cuenta con trabajo. De estos 71 % de las personas cuenta con empleo a tiempo completo y 19.4 % tiene empleo a medio tiempo.

Figura 1.
Número de estudiantes y graduados de la maestría en Conservación y Manejo de Vida Silvestre (MACOMVIS).



Fuente: base de datos del ICOMVIS.

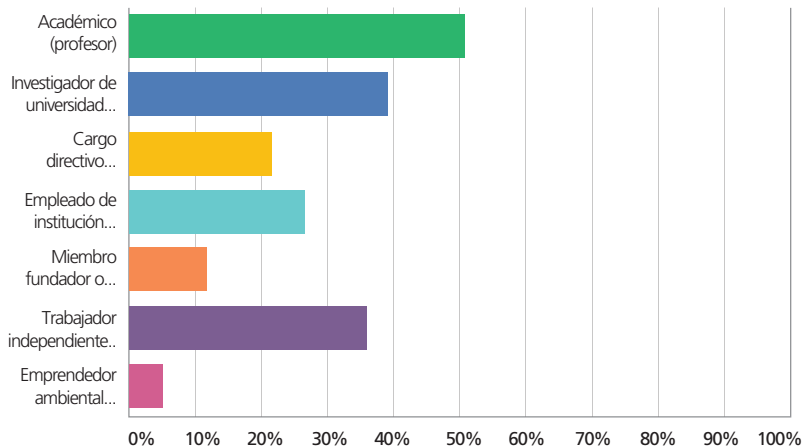
En este sentido, más importante que el porcentaje de empleabilidad es el impacto a escala del tipo de trabajo. Las personas graduadas de la MACOMVIS han tenido un gran éxito en su carrera profesional. Del primer grupo de personas graduadas de las promociones XIII a la XXIII se tiene que el 51 % son académicos y el 39 % son investigadores universitarios o de centros de investigación privados. Por lo tanto, tenemos que la maestría académica del ICOMVIS ha hecho un aporte de gran magnitud en el campo académico de la docencia y la investigación de la vida silvestre, que no se ha restringido únicamente a Costa Rica sino en el ámbito regional e incluso aportando profesionales que entienden la dinámica neotropical en Europa y Asia. Además del campo académico y de investigación, las personas graduadas de las promociones XIII a XXIII ocupan puestos en el sector de las ONG conservacionistas (26 %) o son fundadores o directivos de estas (11,5 %). Finalmente, muchos trabajan en el sector de la asesoría ambiental como consultores (36,1 %). La Figura 2 muestra las áreas de trabajo donde se desempeñan los graduados de la MACOMVIS. En el caso de las personas graduadas

encuestadas de las promociones XXIV a XXVII, algunas de ellas se encontraban terminando su trabajo de tesis al momento de aplicar los cuestionarios. A pesar de ello, muchos ya se encontraban laborando en empleos académicos y de investigación (26 %), ocupaban puestos en el sector de las ONG conservacionistas (33 %) o eran fundadores o directivos de estas (13 %). Llama la atención –y es un aspecto que se revisará más adelante–, que un 40 % de las personas graduadas más recientes ya se encuentran trabajando en el sector de las consultorías.

El ICOMVISI ha acumulado más de 30 años formando profesionales en el campo de la conservación y el manejo de vida silvestre que han logrado establecerse en su gran mayoría de forma exitosa en los campos de la academia, la investigación, el trabajo con organizaciones no gubernamentales o creando y liderando sus propias ONG. A este nivel, y en un contexto local, pueden mencionarse las ONG Nai, Misión Tiburón, Fundación Saimiri, Fundación Keto, Fundación Trichechus, Gente y Fauna Silvestre, entre muchas organizaciones que han sido fundadas y son dirigidas por graduados de la maestría. Estas ONG nacionales tienen un gran impacto en el ámbito nacional e internacional, alguno de sus miembros fundadores han recibido reconocimiento internacional, como es el caso de Ilena Zanella, quien recibió el prestigioso premio Whitley de Conservación en 2019, por su labor científica en la ONG Misión Tiburón, el cual es considerado el “Oscar Verde”; de igual manera Esteban Brenes Mora, graduado de la MACOMVIS, fue el ganador del premio “MAB Young Scientist” (MAB Jóvenes Científicos) que otorga la UNESCO a investigadores jóvenes. Otro de nuestros graduados, Ricardo Moreno, de nacionalidad panameña, fue galardonado con el Premio Ford de Ambiente 2015, escogido como Explorador Emergente de la National Geographic en el 2017 y Embajador de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en el 2018, solo por nombrar algunos. Por lo tanto, el ICOMVIS, como unidad académica de la Universidad Nacional y a través de su maestría, ha tenido un impacto más allá de las fronteras, con lo cual se le ha dado a la UNA un prestigio internacional, sin dejar de mencionar que ha redundado en la conservación de las especies y su hábitat a escala nacional e internacional.

Figura 2.

Tipos de empleo en que se desempeñan las personas graduadas del ICOMVIS de las promociones XIII a XXIII.



Fuente: base de datos propia, 2019.

Otro punto importante de destacar es que el ICOMVIS ha mantenido contacto con la mayoría de sus graduados y dado un seguimiento a su desarrollo profesional; los mismos egresados han creado una cuenta en una de las redes de profesionales con la finalidad de seguir compartiendo inquietudes, desarrollo profesional y noticias sobre lo que tiene que ver con su especialización. Por lo tanto, el éxito que han tenido es que, dentro de esta red, se pueden ubicar graduados de la primera promoción (> 30 años) hasta otros de las más recientes promociones. De igual manera, el ICOMVIS cada año ofrece un curso de actualización en temas de conservación como una manera de mantener a los egresados actualizados en temas emergentes de esta disciplina. Por supuesto, los cursos son impartidos por profesores de primer nivel, por lo general, internacionales. Los cursos impartidos han sido muy exitosos y, ahora mucho más, porque también pueden ser transmitidos de forma virtual y extender de este modo su alcance. De igual manera, el ICOMVIS, en conjunto con los graduados, organizan cursos específicos, simposios y mantiene un canal de consulta entre académicos y egresados.

Adaptarse a los nuevos tiempos: Desafíos y retos futuros para la maestría en conservación de vida silvestre y biodiversidad

Como suele decir en su poema-canción el premio Nobel de Literatura Robert Zimmerman (Bob Dylan): “La oportunidad no volverá de nuevo y debéis actuar pronto, ya que esta rueda no parará de girar para mencionar el siguiente nombre, debido a que el perdedor de hoy vencerá mañana, porque los tiempos están cambiando” (Dylan, 2007). Con esa sentencia de Dylan como telón de fondo, la MACOMVIS, después de 35 años de larga y exitosa trayectoria, ha decidido realizar un cambio para adaptarse a los tiempos actuales, en los que la tecnología nos ha planteado el reto de cómo realizar diversas actividades humanas en la actualidad. Dentro de ellas se incluye la manera de hacer educación a nivel superior. Así, la promoción XXIX será la última promoción en la modalidad académica presencial y este plan de estudios de la MACOMVIS será terminal al 2024, porque la nueva maestría tendrá un formato bimodal. Los retos pasan por la adaptación y la capacitación de los académicos para dictar cursos virtuales, después de años de dar lecciones con el formato presencial tradicional. De igual manera, será un desafío la receptividad de parte de los estudiantes, aunque los nuevos estudiantes que, en su mayoría pertenecen a una nueva generación acostumbrada a las tecnologías emergentes, por lo tanto, esperamos que la aceptación de este nuevo formato sea acorde a los tiempos actuales y bien recibido por los futuros estudiantes.

Sin tener un oráculo como medio de consulta, a inicios del 2016 se inició la historia de una nueva promoción, sobre la base de la MACOMVIS. El proceso se inició con consultas entre académicos, estudiantes y empleadores relacionados con la MACOMVIS, estas consultas fueron para modificar, primero, el plan de estudios de la maestría y, segundo, realizar un cambio de la modalidad de entrega de esta. Se analizó si la maestría actual (MACOMVIS) satisfacía las necesidades académicas y profesionales a escala nacional y regional. Este análisis y la información que conformaron el documento de propuesta se desarrollaron

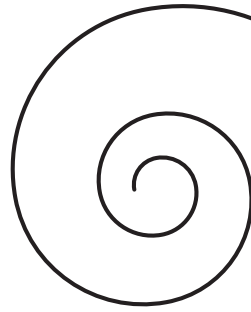
siguiendo las pautas establecidas por el Consejo Nacional de Rectores (CONARE), asimismo, a través de un intenso proceso de consulta y diseño. Como parte del diseño del nuevo pénsum, durante el 2016, se aplicaron dos cuestionarios estructurados a dos grupos de personas egresadas. El primer grupo estuvo conformado por egresados(as) de las promociones de la XIII a la XXIII y el segundo grupo por las promociones de la XXIV a la XXVII. Además, se realizó un cuestionario al sector empleador. En el 2017 se realizaron talleres facilitados y guiados por la Vicerrectoría de Docencia para definir el perfil profesional: dos talleres con personas docentes de la MACOMVIS, un taller con personas egresadas y un taller con el personal administrativo para conocer los alcances y necesidades para formulación del nuevo pénsum.

Después de dos años de arduo trabajo, al fin vio la luz el nuevo plan. Los mayores cambios con respecto a la MACOMVIS fueron organizar el plan de estudios en módulos, debido al hecho de que la nueva maestría será profesional y se ofrecerá en un formato bimodal. En este caso, la bimodalidad consiste en que los estudiantes recibirán clases teóricas de manera virtual y las prácticas de los módulos de manera presencial; además, el nombre de esta nueva maestría es Maestría en Conservación de Vida Silvestre y Biodiversidad (MACOVIB). El 2021 inició clases la primera promoción de la MACOVIB en respuesta al cambio de los tiempos. Esta propuesta hacia lo profesional constituyó una actualización y evolución natural de la MACOMVIS, que, a lo largo de su existencia, graduará alrededor de 300 profesionales costarricenses y de toda América Latina. Aunque es aún temprano para evaluar si esta propuesta de la nueva maestría fue un acierto, tenemos la confianza de que el desafío que ha asumido el ICOMVIS con ofrecer esta modalidad de maestría a los profesionales de Costa Rica y América Latina, tendrá el éxito de su antecesora. Por tanto, el ICOMVIS seguirá poniendo a disposición toda su experiencia académica y de investigación acumuladas durante largos años para beneficio de los estudiantes y para que la conservación de la fauna silvestre sea un elemento fundamental y contribuyan al desarrollo de las sociedades de la región.

Bibliografía

- Almonte, H., M. Chopin, E. de la Llata, K. Lloyd, H. Luque-Machaca, B. Morera, S. Muñoz, E. B. Oberheim, C. Posadas. 2019. *Conectividad y presencia de la danta (Tapirus bairdii) en el Corredor Biológico Tenorio-Miravalles, Costa Rica*. Instituto Internacional en Conservación y Manejo de Vida Silvestre, Universidad Nacional de Costa Rica. 177 p.
- Alonzo, R., R. Cádiz, M. L. Enríquez, A. Gómez, J. Latín, M. T. Narváez, I. Sandoval y F. Villatoro. 2005. *Flora, Fauna y Aspectos Sociales de la Comarca Ngöbe-Buglé, Panamá*. Programa Regional en Manejo de Vida Silvestre para Mesoamérica y el Caribe, Universidad Nacional, Costa Rica, 99 p.
- Aranda, A., J. Estévez, M. Flores, M. Osorto-Núñez, M. Pérez-Guevara, E. Perucca, E. Rosero, y G. Vides-Hernández. 2021. *Características del hábitat, actividades turísticas y su relación con la presencia del quetzal resplandeciente (Pharomachrus mocinno) en la Reserva Biológica Bosque Nuboso Monteverde (RBBNM), Costa Rica*. Instituto Internacional en Conservación y Manejo de Vida Silvestre, Universidad Nacional de Costa Rica. 85 p.
- Asamblea Legislativa. 1977. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=8216&nValor3=8818&strTipM=TC#ddown
- Bailey, J. A. 1984: Principles of wildlife management. John Wiley & Sons, INC. 373 p.
- Bob Dylan. 2007. Letras 1962-2001. Global Rhythm Press. Santillana/Ediciones Generales /S. L.
- Bonine, K., J. Reid, and R. Dalzen. 2003. Training and education for tropical conservation. Conservation Biology 17: 1209-1218.
- Corrales's Lenin. 2014. Blog <https://lenincorrales.com/2014/01/25/186-anos-de-conservacion-en-costa-rica/Historia de la Creación del MINAE> <https://minae.go.cr/acerca-de/acerca-del-minae/historia-minae/2-pages>
- Hassan, R., R. Scholes y N. Ash, editors. 2005. Ecosystems and human well-being: current state and trends. Volume 1. Island Press, Washington, D.C.
- Hirsch, J. E. 2005. An index to quantify an individual's scientific research output. Proceedings of the National Academy of Sciences. 102 (46): 16569-16572. doi:10.1073/pnas.0507655102.

- Meffe, Gary K.; Martha J. Groom (2006). Principles of conservation biology (3^a. edición). Sunderland, Mass: Sinauer Associates.
- Morales, R. C. MacFarland, J. Incer y A. Hobbs. 1987. Memorias de la primera reunión regional Centroamericana sobre vida silvestre. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/3077>
- Rodríguez, J. P., J. A. Simonetti, A. Premoli, and M. A. Marini. 2005. Conservation in Austral and Neotropical America: building scientific capacity equal to the challenges. *Conservation Biology* 19: 969-972.
- Rodríguez, J. P., K. M. Rodríguez-Clark, M. A. Oliveira-Miranda, T. Good, and A. Grajal. 2006. Professional capacity building: the missing agenda in conservation priority setting. *Conservation Biology* 20:1340.
- Simberloff, D. (1988). The contribution of population and community biology to conservation science. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 19, 473-511.
- Sistema Costarricense de Información Jurídica. 1982. Ley 6812. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param2=NRTC&nValor1=1&nValor2=33153&strTipM=TC. Consultado el 19 de mayo de 2022.
- Soulé, Michael E.; Wilcox, Bruce A. (1980). Conservation biology: an evolutionary-ecological perspective. Sunderland, Mass: Sinauer Associates.
- Soulé, Michael E. 1986a. What is Conservation Biology? *BioScience* 35 (11): 727-34. JSTOR 1310054. doi:10.2307/1310054.
- Soule, Michael E. 1986b. Conservation Biology: The Science of Scarcity and Diversity. Sinauer Associates. p. 584.
- Van Dyke, Fred (2008). Conservation biology: foundations, concepts, applications (2a. edición). New York: Springer-Verlag. doi:10.1007/978-1-4020-6891-1.
- Vaughan, C. (s.f.). Primer Posgrado en Manejo de Vida Silvestre de América Latina: gestión y evolución hasta 1997. [Documento Institucional]. UNA, Departamento de Publicaciones.

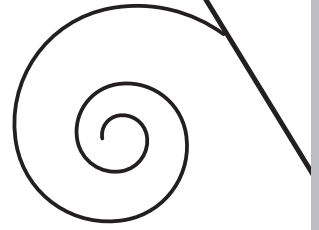


Capítulo V

El aporte de la Escuela de Ciencias Ambientales a la conservación y uso sostenible de los recursos naturales de Costa Rica

Sergio Andrés Molina-Murillo¹,
María José Avellán Zumbado²,
Marielos Alfaro Murillo³,
Nancy Zamora Cervantes⁴

-
- 1 Académico en la Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional, Costa Rica. Es ingeniero forestal con una maestría en Mercadeo y Comercio de Productos Forestales y un doctorado en Economía de Recursos Naturales, ambos de la Universidad de Minnesota.
 - 2 Académica de la Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional, Costa Rica. Ingeniera en Ciencias Forestales de la Universidad Nacional, con una maestría en Manejo de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción del Instituto Tecnológico de Costa Rica.
 - 3 Es directora de la Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional, Costa Rica. Es ingeniera forestal con una maestría en Economía de Recursos Naturales y otra en Comercio Internacional.
 - 4 Académica de la Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional, Costa Rica. Ingeniera en Ciencias Forestales con maestría en Gerencia del Comercio Internacional del CINPE-UNA.



Introducción

Los ecosistemas forestales albergan una riquísima biodiversidad, recursos hídricos abundantes y proveen otros bienes y servicios clave para el desarrollo socioeconómico sustentable y la salud de millones de personas en todo el mundo; además, son importantes sumideros y reservorios de carbono que contribuyen a mitigar los efectos del cambio climático. A pesar del reconocimiento del rol estratégico de los bosques en el mundo, en este siglo XXI se mantienen prácticas que ponen en riesgo la sostenibilidad de la producción de bienes y servicios ambientales y la integridad de dichos ecosistemas. Para profundizar en el manejo de los recursos forestales y lograr su conservación a través del tiempo, se requiere de la gestión del conocimiento, la innovación y el desarrollo de soluciones que contemplen lo social, económico y ambiental, lo cual es posible con la participación de personas profesionales formadas en las ciencias forestales, especialistas en el manejo de estos ecosistemas y en la producción de madera como producto natural, renovable, biodegradable y no tóxico que lo privilegia como el mejor material para la construcción en el planeta y que contribuye en el desarrollo económico de los países y de sus comunidades rurales. Por eso, a lo largo y ancho del planeta, las universidades ofrecen la carrera de ingeniería forestal y desarrollan investigación y extensión que acerca del conocimiento a los dueños y administradores de estos ecosistemas, con el fin de lograr la conservación de estas masas forestales.

Desde mediados del siglo XIX, la actividad forestal en Costa Rica ha sido clave para su desarrollo productivo. Autores como Goebel McDermott (2013) y López (2021) reconocen no solo la actividad económica forestal, sino que además ejemplifican los primeros casos de deforestación significativa, principalmente a raíz de la producción de banano y café dentro del inicio del modelo agroexportador, y en menor medida de la extracción y exportaciones de cedro, caoba y otras especies consideradas finas. Aun así, se cree que hasta la mitad del siglo XX la cobertura forestal del país era mayor al 75 % (Nygren, 1995), cuando la explotación del bosque comienza a ocurrir con mayor magnitud, resultado de la expansión ganadera y sus grandes exportaciones a EE. UU (Austin, 2010).

Nygren (1995) documentó casos donde se evidencia que, desde las décadas de 1930 y 1940, el sistema de denuncia de la Ley de Informaciones Posesorias motivaba a cortar el bosque sin ninguna intención de cultivar, ya que la tala era un requisito legal para obtener derechos de propiedad en tierras públicas. Es así como a partir de 1942, y aunque de forma desorientada (Seligson, 1978), se avanza la reforma agrícola de Costa Rica con la creación del Ministerio de Agricultura, y dentro de este la Oficina de Colonización y Distribución de Tierras que dos décadas después se transforma en el Instituto de Tierras y Colonización (ITCO). Durante las décadas de 1950 y 1960, las tasas de reforestación fueron cerca de las 50 000 hectáreas por año, llegó incluso a duplicarse el área de pastos hasta alcanzar 1.5 millones de hectáreas.

En Guanacaste, la problemática se agudizaba con una alta tasa de deforestación, sequías y deterioro de los suelos. Ciertamente, el desarrollo de actividades agropecuarias, agroindustriales y comerciales fueron el resultado del crecimiento de la población en Costa Rica, la cual era en 1821 de 65 000 habitantes, la cual estaba conformada por criollos, mulatos y mestizos asentados en núcleos dispersos en el Valle Central y dedicada a la agricultura de subsistencia. Para 1900, 79 años después de la independencia, se reportan 277 078 personas. Sin embargo, 80 años después (1980) había 2 276 674, o sea nueve veces más que en 1900; y solamente 40 años después, en el 2020, el país supera los 5 millones de habitantes. El crecimiento de la población llevó al incremento de las actividades agropecuarias, agroindustriales, industriales, comerciales y de servicios y a la expansión

del uso urbano en el país, lo cual impactó en la reducción de la cobertura boscosa.

La reducción de la cobertura forestal fue respaldada por políticas de impulso al sector agropecuario y no es hasta 1984-1990 cuando con las reformas a la ley forestal y la prohibición del cambio de uso del suelo, inicia ese proceso de recuperación de cobertura apoyado con instrumentos económicos de fomento forestal. Costa Rica se convirtió en ejemplo mundial, pues las políticas y acciones concretas de manejo e incentivos a la conservación forestal dieron como resultado la recuperación de la cobertura, hasta superar el 50 % al iniciar este siglo XXI.

A escala mundial también se dieron, desde finales de la década de 1960, una serie de acontecimientos de carácter ambiental y social que resonaron en la realidad costarricense y propiciaron varias acciones en favor de los ecosistemas, su manejo y conservación. El movimiento que desencadena Rachel Carson en contra del uso de agroquímicos en EE. UU. y que populariza con su libro *La primavera silenciosa*, el informe «Los límites del crecimiento» del Club de Roma, así como la «Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano» apuntaban hacia una sociedad más preocupada y decidida de actuar en favor del ambiente.

En dicho contexto, el Estado promulgó en 1969 la primera ley forestal del país (N.º 4465). Con este marco normativo aplicable a los ecosistemas forestales nacionales, inician las acciones de política pública para reducir las malas prácticas en la explotación de los recursos forestales. Un año después se crea la Dirección General Forestal, como una dependencia del Ministerio de Agricultura y Ganadería. En la recién creada Universidad Nacional o «Universidad necesaria» como se le conoce, se consideró relevante para el país fundar –en 1973– la Escuela de Ciencias Ambientales, que en 1974 inicia la carrera de ciencias forestales, y que desde un principio se visionó con un enfoque integral de manejo productivo y conservación de flora y fauna silvestre.

Desde entonces, el aporte de la Escuela de Ciencias Ambientales (EDECA) de la Universidad Nacional (UNA) a la conservación y manejo de los recursos naturales de Costa Rica ha sido extenso y prolífero. A lo largo de los años, ha mantenido una oferta académica de excelencia, pertinente, flexible y acorde a las necesidades de la sociedad y el ambiente, y además desarrolla una investigación y extensión de calidad sustentada en el desarrollo de programas, proyectos y actividades académicas (PPAA) innovadores y

de impacto social, económico y ambiental, basados en abordajes inter y multidisciplinarios de los objetos de estudio.

En el siguiente acápite, se presenta una breve reseña histórica de la EDECA, para luego profundizar en dicho aporte desde la docencia, investigación y extensión. Luego hacemos una reflexión sobre los principales retos de mediano y largo plazo que nuestra unidad académica enfrentará para seguir contribuyendo de manera asertiva al desarrollo social, económico y ambiental del país. Finalizamos con las principales conclusiones.

Reseña histórica de la Escuela de Ciencias Ambientales

La génesis de la Escuela de Ciencias Ambientales (EDECA) se ubica en 1973 e inicia operaciones al año siguiente con su primera cohorte de personas profesionales en ciencias forestales que finaliza cursos a finales de 1977. Desde su inicio, la EDECA ha jugado un papel determinante en el abordaje de los problemas ambientales y forestales del país, en la concientización sobre el uso racional de los recursos naturales y en la responsabilidad colectiva frente a proyectos de aprovechamiento y conservación del ambiente, la necesidad de un uso sustentable de los recursos naturales en los procesos productivos y en la búsqueda de un equilibrio entre conservación y desarrollo.

El primer director de la EDECA fue el biólogo Rolando Mendoza, quien fue sucedido en ese proceso de fundación por el destacado Mario Boza, «padre de los parques nacionales en Costa Rica», quien recién había impulsado y dirigido el Departamento de Parques Nacionales y Vida Silvestre dentro del Ministerio de Agricultura. Como en el país no había ingenieros forestales, los primeros académicos de la EDECA fueron destacados extranjeros que permearon sus conocimientos, experiencias y culturas. Así, su tercer director, quien tuvo una labor protagónica en la consolidación de la EDECA, fue el estadounidense Charles Schnell, quien visionó una formación multidisciplinaria, elemento característico hasta la actualidad. Destacaron durante estos primeros años académicos de Colombia: Jorge Botero, Jaime Leal, Narciso Reyna, Carlos Santander, Jaime Raigosa y Francisco Lega, de España: Manuel «Manolo» González, de EE. UU.: Christopher

Vaughan, Mike McCoy, Donald Zeaser, Frank Zadroga, de Holanda: Dick Lemckert y Wilhelm Krick, de Cuba: Nelson Cuenca, de Bolivia: Mario Boudin, y de Chile: Carlos Cárdenas y Rodia Romero. Este último fue director en dos ocasiones y Decano de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar.

También participaron en sus orígenes los académicos costarricenses: Luis Poveda, Adelaida Chaverri, Rosario Alfaro, Estrella Guier, quienes impregnaron su ADN en el quehacer de la Escuela. De manera intencional, también se apostó por el reclutamiento y formación a nivel de posgrado de graduados de las primeras generaciones de ingenieros forestales: Eladio Chaves, Jorge Fallas, Carmen Valverde, Dora Rodríguez y Fernando Mora (primera generación), Mario Rodríguez y Mayra Alfaro (segunda generación), Marielos Alfaro y Wilberth Jiménez (cuarta generación), Sergio Jiménez y William Fonseca (quinta generación) y Ronald Miranda (sexta generación). Otros valiosos aportes vinieron de académicos como Luko Hilje, Sileny Vega, Lorena San Román, Ronald Dormond, Juan Bravo, Eduardo Hernández y Luisa Castillo.

Pero no solo se sumó personal experto en ciencias exactas y naturales, sino también en ciencias sociales, como Silvia Rodríguez, Francisco Fernández, Emilio Vargas y Eduardo Mora. Este último fue quien dirigió la *Revista de Ciencias Ambientales* por dos décadas (1996 a 2016), revista fundada y dirigida en sus inicios (1980) por Rosario Alfaro. Esta ha sido otra valiosa contribución al país, ya que en dicha época eran muy limitados los medios especializados que permitieran crear pensamiento y cultura en el manejo de los recursos naturales. A partir del 2016 –bajo la dirección de Sergio Molina– la *Revista de Ciencias Ambientales* tomó un giro hacia la proyección internacional, y hoy día, más del 70 % de su audiencia se da desde otros países, además de estar incluida en importantes índices de calidad internacional, con lo cual se reconoce así su rigurosidad y relevancia. Junto con la *Revista Ambientico*, que nació en 1994, hoy ambas revistas contribuyen significativamente para difundir, educar e informar a la sociedad y la política pública a partir de problemáticas ambientales.

Hasta aproximadamente mediados de la década de 1990, se tuvo un importante apoyo internacional por medio de las agencias de cooperación de Finlandia, Suiza, Holanda e incluso EE. UU., que, junto con un personal multidisciplinario, vigorizaron

el desarrollo de una actividad académica con enfoques en silvicultura y producción forestal, manejo y conservación de vida silvestre, manejo de áreas silvestres protegidas, y manejo de cuencas hidrográficas.

Resultado de este trabajo interdisciplinario y de cooperación internacional, se da desde la EDECA el nacimiento de otras unidades académicas que, a la fecha, hacen importantes contribuciones al desarrollo del país. De forma pionera, las académicas Luisa Castillo e Ineke Wesseling desarrollan un proyecto de extensión universitaria con agricultores de Tierra Blanca de Cartago (1982), el cual, en 1998, llega a consolidarse como el Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET-UNA). De igual forma, en 1984 y bajo el liderazgo de los académicos Christopher Vaughan y Mike McCoy, y con el apoyo del Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los EE. UU., se creó el Programa Regional en Manejo de Vida Silvestre para Mesoamérica y el Caribe (PRMVS), con el propósito de formar a profesionales y generar investigación en el área de conservación y manejo de vida silvestre. Este programa, se transformó dos décadas más tarde en lo que hoy es el Instituto Internacional en Conservación y Manejo de Vida Silvestre (ICOMVIS). Finalmente, con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo, la EDECA conformó un equipo para diseñar un centro de investigación en materia forestal, el cual estuvo conformado por los académicos Eladio Chaves, Dora Rodríguez, Fernando Mora, William Fonseca, Sergio Jiménez y Marielos Alfaro, con lo cual se trata del primer paso para el nacimiento del Instituto de Investigaciones y Servicios Forestales (INISEFOR) en 1992.

En el 2006, la carrera de ingeniería en ciencias forestales se acredita bajo el estándar del SINAES para convertirse en la primera carrera forestal acreditada en el país y la primera en la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar, acreditación que mantiene en la actualidad. Influenciada también por la Cumbre de Río y las primeras cumbres mundiales del clima, la EDECA propicia su acción sustantiva en otras áreas de gran necesidad en el país como la educación ambiental, que durante más de 15 años (1993-2009) tuvo abierta una oferta de licenciatura y que incluso hoy día es un área que se aborda desde diferentes proyectos y cursos. Desde finales de la década de 1990 y principios del 2000, se consolidan investigaciones en calidad de aire y en metrología, que dan origen al Laboratorio de Análisis Ambiental (LAA) con contribuciones de Rosario Alfaro, Sileny Vega, Ronald Dormon y Jorge

Herrera, así como el Programa de Estudios en Calidad, Ambiente y Metrología (PROCAME) por parte de Ligia Bermúdez. Con estas incursiones y la necesidad de formar profesionales que atiendan las apremiantes problemáticas ambientales del país, se aprueba a través de un convenio específico con el Ministerio de Salud, la carrera de gestión ambiental en 1995 y que, en el 2002, pasa a ser una carrera abierta en la Universidad con oferta en diplomado y bachillerato. Una década después, en el 2012, se fortalece como ingeniería en gestión ambiental (bachillerato y licenciatura), la cual recibe su primera cohorte en el 2013. Más recientemente (2017), se establece la maestría en metrología y calidad, con énfasis en aseguramiento metrológico, sistemas integrados de gestión, y ecoeficiencia, consolidando lo que, desde su inicio, se visionó: una unidad académica que responda de forma integral a la conservación y manejo de los recursos naturales y al mejoramiento de la calidad del ambiente en Costa Rica.

A lo largo de la historia, la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional ha tenido destacados académicos. En primer lugar, mencionamos a la Benemérita de la Patria, Adelaida Chaverri, por sus contribuciones en los campos de la ecología y el manejo forestal, así como su incansable lucha, por la conservación de los bosques de altura de este país. Reconocemos también a Luis Poveda, por sus aportes en principios activos y propiedades medicinales de plantas y árboles; a Silvia Rodríguez, por sus esfuerzos en el reconocimiento de los derechos consuetudinarios, propiedad ancestral y fortalecimiento local, es promotora de la Ley de Biodiversidad; a Christopher Vaughan, por su trayectoria en el área de la conservación y manejo de la vida silvestre. Estos últimos académicos fueron galardonados con el premio Roberto Brenes Mesén por el alto grado de excepcionalidad en su trayectoria en las tareas inherentes al quehacer universitario. También reconocemos a Mario Boza, quien, en 2022, la Universidad Nacional además le confiere la distinción Doctorado *Honoris Causa* por sus aportes a la conservación de las áreas silvestres protegidas, los recursos naturales y el desarrollo del ecoturismo. Adicionalmente, se distinguen a Charles Schnell como el principal consolidador de la visión EDECA, a Manuel «Manolo» González, por su aporte en la corriente de pensamiento clásico en silvicultura y ordenación forestal, y a Rosario Alfaro y Sileny Vega por su trabajo en pro de la calidad del aire. Aunque pudiendo ser injustos con otros académicos que también han realizado una importante labor, quisiéramos destacar a cuatro

de esos primeros ingenieros forestales formados en nuestra Escuela y que además llegaron a ser directores de esta: Jorge Fallas, por su contribución a la incorporación de los sistemas de información geográfica al manejo de los recursos naturales; Wilberth Jiménez, por sus aportes al manejo de robledales, así como la producción en fincas integrales; William Fonseca, por sus innovadoras investigaciones en temas de medición de la biomasa y carbono forestal; Marielos Alfaro, por sus aportes en la política forestal comercial. Finalmente, destaca Ronald Miranda, por sus aportes en la forestería comunitaria, llegó a ser también Vicerrector de Extensión en la Universidad Nacional.

No podemos terminar esta reseña, sin antes mencionar que el aporte de la EDECA al desarrollo sostenible de este país ha sido con una visión no solo ambiental, sino también social y económica, ha apoyado a muchas comunidades marginales donde proyectos de extensión e investigación se informan, nutren y desarrollan a partir del liderazgo de nuestros equipos de trabajo. A lo largo de las décadas, muchísimas empresas, instituciones públicas, centros agrícolas, agencias de cooperación y ONG, se han visto beneficiados por nuestras personas profesionales formadas en la Universidad Nacional.

También, el aporte en política ambiental ha sido trascendental; en este sentido, la EDECA ha participado en el comité organizador de todos los congresos forestales nacionales y centroamericanos realizados en Costa Rica, ha integrado comisiones formadas por los ministerios en materia forestal y ambiental, ha aportado en la elaboración de guías para planes de manejo de todo tipo y el diseño de los principios, criterios e indicadores para el manejo forestal sostenible de Costa Rica, también en políticas y normativa forestal y las relacionadas con manejo de vida silvestre, humedales, cambio climático y descarbonización, pagos por servicios ambientales, calidad del aire, recurso hídrico, manejo de desechos, entre otras temáticas abordadas por nuestro personal académico.

Al 2020, Costa Rica ya contaba con 3 034 870 de hectáreas de cobertura forestal (59.4 %), por ende, el uso del suelo más extenso en el país (SIREFOR, 2021), y por tanto, ocupa un lugar relevante en las políticas públicas de Estado, tanto en su gestión interna, como en su proyección internacional. Por tanto, la conservación y el manejo de los ecosistemas forestales seguirán siendo por muchas décadas aspectos centrales en las pretensiones

ambientales, sociales y económicas del país, y donde las personas profesionales en ciencias forestales son actores protagónicos para alcanzarlas de manera efectiva. Estos y otros reconocimientos nacionales e internacionales que nuestro país ha recibido en materia de bosques, cambio climático y sostenibilidad son producto de iniciativas país multiparticipativas, en las cuales, con sus diferentes capacidades y su personal experto, la EDECA ha contribuido a lo largo de estas cinco décadas.

Formación de profesionales para el desarrollo forestal y ambiental del país

La EDECA actualmente ofrece dos carreras con grado de bachillerato y licenciatura: Ingeniería en Ciencias Forestales e Ingeniería en Gestión Ambiental. Además, cuenta con una maestría profesional en Metrología y Calidad.

El programa de formación de profesionales en Ciencias Forestales inició como una de las primeras carreras de la Universidad Nacional en 1974. Inicia con el grado académico de Bachillerato en Ciencias Forestales y en 1981 inicia la Licenciatura en Ciencias Forestales con especialidad en Producción Forestal. Luego, cambiaría su nombre a Ingeniería en Ciencias Forestales, grado académico de bachillerato y licenciatura. Este es uno de los programas de Ingeniería Forestal con mayor trayectoria en Costa Rica y desde la primera promoción en 1977 se han otorgado 879 títulos, un 37 % entregados a mujeres y un 63 % a hombres. En el 2013, inicia el programa de Ingeniería en Gestión Ambiental, que a la fecha ha otorgado un total 134 títulos, 31 % entregados a mujeres y un 69 % a hombres. Por su parte, desde la maestría profesional en Metrología y Calidad se han graduado a 10 profesionales desde su inicio en el 2017.

Durante estos años, algunos programas de estudio caducaron. Sería el caso de la oferta en Gestión Ambiental que se dio entre 1995 y 2012, de la cual se otorgaron 510 títulos (52 % entregados a mujeres y 48 % a hombres); y la Licenciatura en Educación Ambiental (1993-2009), principalmente dirigida a profesionales del sector educación, de la cual se otorgaron 101 títulos.

Carreras pertinentes con sello de calidad

El programa de Ingeniería en Ciencias Forestales ha evolucionado a lo largo de casi 50 años y responde a los cambios del entorno, sean de carácter legal-normativo, técnico-económico y socioambiental, mantiene siempre una vigencia y pertinencia para las personas profesionales graduadas en la EDECA.

El primer plan de estudios originado en 1977 se orientó hacia un bachiller en ciencias ambientales, el cual posteriormente fue reenfocado hacia las ciencias forestales y en 1980 se creó la Licenciatura con Énfasis en la Producción Forestal. Desde 1980 hasta 1997, el plan tuvo varias revisiones, las cuales significaron la modificación de temáticas e incorporación de nuevos cursos, además del cambio del énfasis de la licenciatura a Manejo Forestal.

En 1997, se lleva a cabo el primer proceso de rediseño de la carrera, el cual se basó en el desarrollo de ejes curriculares temáticos, y fue nombrado: «Plan de Estudios Forestales 2005», que profundizó en fundamentar el objeto de estudio, mercado, metodología y las líneas curriculares. Este hecho ocurrió de manera paralela con el desarrollo y promulgación de la Ley Forestal N.º 7575 publicada en 1996.

Posteriormente, en el 2004, se lleva a cabo una revisión al plan vigente y se publica el «Plan de Estudios Forestales 2015»; entre sus principales cambios destaca –a partir del 2007– la oferta adicional en el rango de licenciatura del énfasis en Manejo de Recursos Hídricos, abierta a estudiantes de forestales, gestión ambiental y geografía.

En el 2010 entró en vigor el «Plan de Forestales 2020», el cual incorpora diversos énfasis a la licenciatura en Ciencias Forestales: manejo forestal, comercio de productos forestales, desarrollo forestal comunitario, y ordenamiento y restauración forestal.

En el 2022, se concluyó el más reciente proceso de rediseño del plan de estudios de la Ingeniería en Ciencias Forestales. Se realizó una actualización curricular según el estado del arte considerando la población meta, los ejes curriculares y las áreas disciplinares de la carrera, así como sus perfiles académicos y requerimientos de infraestructura. En este nuevo plan se propone un reajuste de los objetivos y la actualización de los perfiles profesionales u ocupacionales de las personas graduadas, el cual

incluye una estrategia metodológica y evaluativa con enfoque de aprendizaje significativo, donde el estudiante tiene una participación más activa y protagónica en el proceso de aprendizaje; también se actualizan los contenidos de los cursos de la malla curricular, los requisitos y se incorporan nuevos cursos. En esta misma actualización, el programa de licenciatura se crea con una nueva oferta de cursos, se eliminan los cuatro énfasis que ofrecía la carrera y pasan a un único programa con un fuerte enfoque en comercio e innovación, esto sin descuidar la base silvicultural y los importantes aportes desde la biosistemática, la geomática, la metodología y las ciencias básicas como química, matemática o biología.

Para la carrera de Ingeniería en Ciencias Forestales se ha apostado por contar con un sistema de calidad para cumplir con procesos de mejoramiento continuo en apego con estándares internacionales. Así, el 14 de septiembre del 2006 fue acreditada por Sistema Nacional de Acreditación de la Educación Superior (SINAES), y hasta hoy se ha reacreditado en dos ocasiones, la más reciente en el año 2019 con vigencia hasta el 2023. Por su parte, la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental se está autoevaluando, como un paso previo a someterse al proceso de acreditación. La Maestría también está en proceso de acreditación por medio de la Agencia Centroamericana de Acreditación de Posgrados.

Investigaciones científicas que aportan a la mejora de los ecosistemas forestales y al ambiente

La Escuela de Ciencias Ambientales es una de las unidades académicas de la Universidad Nacional con mayor número de proyectos ejecutados de investigación científica. Solo del 2017 a la fecha se registran 47 programas o proyectos vigentes. A lo largo de la historia, varios de estas investigaciones –como ya hemos destacado– terminaron convirtiéndose en unidades académicas dada su pertinencia y logros (i.e., IRET, ICOMVIS, INISEFOR), lo cual ha generado un voluminoso acervo de investigaciones en temas ambientales y forestales de gran relevancia para el país.

Debido a la limitada documentación histórica, no podemos mostrar un recuento preciso de todos los proyectos de investigación, pero por medio de varias consultas bibliográficas y entrevistas, podemos mencionar algunas otras investigaciones que fueron durante estas casi cinco décadas relevantes para el país. Entre ellos destaca el «Programa de Ecología y Manejo de Vegetación de Altura (ECOMA)», el cual se enfocó en investigar los bosques de robles y páramos de la cordillera de Talamanca. Este proyecto fue dirigido durante la década de 1980 y parte de la de 1990 por Adelaida Chaverri, y apoyado por Wilberth Jiménez, Isabel Rojas, Ronald Miranda, Marielos Alfaro y Maarten Kappelle. Su importancia radica en que sentó las bases para el manejo y conservación de los ecosistemas de robledales; además, desde el programa ECOMA, se estableció una estación biológica y silvicultural de investigación en las montañas de Talamanca (Kappelle y Cleef, 2004).

El «Programa de investigación-extensión Humedales de Costa Rica» tuvo el liderazgo del académico Juan Bravo, también generó en cooperación con otros académicos de la EDECA (p. ej., Lilliana Piedra, Ileana Mora, Teresita Piedra y Nelson Zamora), importantes investigaciones pioneras para el entendimiento y conservación de estos frágiles y amenazados ecosistemas (p. ej., Bravo *et al.*, 1992; Bravo, 2005). Destacan investigaciones en los más importantes humedales de Costa Rica como la península de Nicoya, el Refugio de Vida Silvestre Caño Negro y el Parque Nacional Palo Verde.

El Laboratorio de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica a cargo de Jorge Fallas fue de los primeros esfuerzos regionales para incorporar estas modernas tecnologías en la conservación, uso y manejo de los recursos naturales. Además, desde este laboratorio se contribuyó profundamente en el currículo de profesionales forestales, que incorporaron los SIG y la geomática en su acervo de conocimientos. Desde este laboratorio se desarrollaron importantes investigaciones en temas de cobertura forestal y manejo de cuencas hidrográficas.

Otras investigaciones se han convertido en programas permanentes. Entre estos destacan el Herbario Juvenal Valerio Rodríguez (JVR), la Revista de Ciencias Ambientales, el Programa en Estudios en Calidad, Ambiente y Metrología (PROCAME), el Laboratorio de Análisis Ambiental (LAA), el Laboratorio de Dinámica y Restauración de Ecosistemas (LADIRECO), el Programa Biodiversidad Forestal y Bioeconomía (PROBIOFOR).

El Herbario Juvenal Valerio Rodríguez (JVR) ha generado conocimiento científico a partir de la recolecta, identificación, conservación y organización de la diversidad vegetal, tomando en consideración los campos de la taxonomía, sistemática y etnobotánica. Bajo el liderazgo de Luis Poveda y Pablo Sánchez, con el apoyo de múltiples investigadores (p. ej., Marco Otárola, Maynor Carranza) y estudiantes, el Herbario JVR ha servido como fuente de información primaria para la comunidad nacional e internacional en apoyo a la investigación, extensión y docencia. Sus investigaciones han sido mundialmente reconocidas, y entre otros productos, destacan importantes herramientas como guías dendrológicas y libros para la identificación de especies.

Establecida en 1980 y dirigida en sus inicios por Rosario Alfaro y luego por Eduardo Mora, la Revista de Ciencias Ambientales fue pionera en ayudar a difundir gran parte del conocimiento científico ambiental que se generaba desde la EDECA y la UNA en momentos en que se carecía de este tipo de espacios. Este esfuerzo se fue consolidando y desde el 2016, bajo el liderazgo de Sergio Molina, la Revista de Ciencias Ambientales ha logrado posicionarse como una destacada publicación internacional, interdisciplinaria, de acceso abierto, que busca estimular, publicar y difundir investigación novedosa, pertinente y rigurosa para la solución de problemas ambientales, particularmente para la región latinoamericana. Actualmente forma parte de los principales índices que evalúan la calidad de revistas científicas como SciELO, Redalyc, Latindex, DOAJ, Dialnet, entre múltiples otros repositorios, bases de datos, y buscadores. Su colección completa se encuentra disponible de manera gratuita en su sitio web, el cual es visitado por más de 50 mil personas, la gran mayoría de ellas de diferentes países de Latinoamérica.

El Programa en Estudios en Calidad, Ambiente y Metrología (PROCAME) contribuye al desarrollo dinámico e innovador de la metrología, la calidad y el ambiente en Costa Rica. A través de este se busca fortalecer el sistema de gestión de calidad en el área ambiental. Durante muchos años liderado por la académica Ligia Bermúdez y apoyado por Manfred Murrel y Karla Vetrani, actualmente PROCAME se ve fortalecido por un renovado grupo de profesionales desde donde se ofrece la maestría de la EDECA en calidad, múltiples programas técnicos en temas como ruido, salud ocupacional, calidad, aguas residuales, cambio climático, gestión ambiental, y por medio de su programa de formación

continúa también ofrece decenas de cursos pertinentes en temáticas ambientales. Además de ser un laboratorio de metrología, el PROCAME ha destacado por sus importantes investigaciones en temas de calidad ambiental.

El Laboratorio de Análisis Ambiental (LAA) es un programa académico de la Escuela de Ciencias Ambientales que desarrolla actividades de investigación –además de docencia y extensión– relacionadas con la atención de problemas derivados de la presencia de agentes contaminantes en las diferentes matrices de agua, aire y suelo. A lo largo de los años, el LAA tuvo significativos aportes por parte de Rosario Alfaro, Sileny Vega, Ronald Dormon, Jorge Herrera y José Félix Rojas. Hoy día, el laboratorio es dirigido por Víctor Beita y cuenta con un grupo de personas investigadoras y una plataforma analítica consolidada, la cual permite desarrollar valiosas investigaciones para empresas, municipios e instituciones del Gobierno central como el Ministerio de Salud.

El Laboratorio de Dinámica y Restauración de Ecosistemas (LA-DIRECO) cuenta con una amplia trayectoria por más de treinta y cinco años en el campo de la ecología tropical aplicada. Bajo la dirección de Albert Morera y el trabajo de Damián Sánchez, el LA-DIRECO busca ser un medio de apoyo académico de investigación, extensión y docencia, con el fin de favorecer procesos de transferencia y consolidar los mecanismos e instrumentos necesarios para una formación y evaluación integral de los recursos naturales.

El Programa Biodiversidad Forestal y Bioeconomía (PROBIOFOR) nace a partir de la experiencia generada en el proyecto permanente de la EDECA, denominado *Vivero Forestal*, el cual cuenta con más de 30 años de recorrido en proyectos de investigación relacionados a la fenología descriptiva, crecimiento y domesticación de las especies viverizadas. El PROBIOFOR incorpora temáticas en servicios ecosistémicos, bioeconomía y desarrollo sostenible en el marco de la adaptación al cambio climático. En su actualidad es liderado por el académico Gustavo Vargas, con el apoyo principalmente de Juan Pablo Ramírez.

No cabe duda de que la investigación en la Escuela de Ciencias Ambientales es una acción sustantiva central que, a lo largo de los años, ha generado aportes de diversa índole, característico del quehacer inter y multidisciplinario de su equipo investigador. Aunque el trabajo ha sido prolífico, está lejos de agotarse. Como se ha mencionado, los problemas actuales son complejos, sistémicos, y, por tanto, el país deberá seguir

apostando por financiar la investigación en estas temáticas, ya habiendo demostrado con logros que la investigación no es un gasto sino una inversión.

Una extensión universitaria al servicio de las comunidades y los territorios

La extensión de la EDECA ocurre desde su mismo origen, en el marco filosófico de la UNA, es decir: de la «universidad necesaria», la universidad del pueblo. Ha generado respuestas a problemáticas nacionales desde su quehacer ambiental, pero siempre con una fuerte perspectiva social. Esto fue posible gracias a la multidisciplinariedad, interdisciplinariedad y a la formación internacional del equipo docente que conformaba la EDECA en su génesis.

Las iniciativas incipientes de extensión en la EDECA se dieron de forma anidada en programas de investigación. Estos programas agruparon docentes en tres líneas de trabajo: conservación de la biodiversidad, silvicultura de bosques y plantaciones, y los problemas de contaminación ambiental. Como se mencionó, estos grupos dieron origen al ICOMVIS, el INISEFOR y el IRET. Otro programa referente de la extensión de la EDECA corresponde al programa de educación en ciencias ambientales, el cual se desarrolló a finales de la década de 1970 y principios de 1980, este consistió en capacitar a personal del Ministerio de Educación Pública (MEP) en educación ambiental. Desde estos cuatro programas se empezaron a identificar los grupos y áreas de acción de la unidad académica.

En las décadas de 1980 y 1990 se generó un desarrollo importante de proyectos de docencia, investigación y extensión en la Facultad de Ciencias de la Tierra y Mar, principalmente en la EDECA y la Escuela de Agrarias. En estos años, la EDECA toma protagonismo hasta convertirse en un referente como resultado de su trabajo, organización y logros. En cuanto a la extensión, la EDECA ejecutó programas muy relevantes y exitosos, que reunían de diversas facultades y unidades académicas; entre ellos destacan:

- *Proyecto UNIR*: un programa interfacultades financiado por Fundación Kellogg, enfocado en la organización local de productores agropecuarios que incluía la producción forestal; el académico Ronald Miranda fue parte del equipo científico.
- *Proyecto CAMBIOS*: un programa interfacultades que unió la Facultad de Ciencias Sociales y Tierra y Mar (principalmente la Escuela de Ciencias Ambientales), financiado principalmente por la Fundación EBERT de Holanda, enfocado en la biodiversidad y coordinado por Silvia Rodríguez, junto con Tony Camacho, Eduardo Mora y Emilio Vargas. Como principal producto de este programa fue el aporte a la Ley de Biodiversidad, la cual fue construida de forma participativa por medio de un proceso de consulta a comunidades a escala regional y nacional. Fue un proyecto de extensión grande que permitió el nacimiento de la hoy revista *Ambientico*, ya que, por medio de este, se identificó que la población nacional se encontraba muy desinformada, y por tanto, requería ser educada en temáticas ambientales. *Ambientico* inicia como un boletín mensual, bajo la coordinación del académico Eduardo Mora, quien se independiza del proyecto CAMBIOS para enfocarse en el boletín. Hoy día es una revista trimestral de divulgación científica dirigida por Sergio Molina, la cual está completamente disponible de manera abierta y gratuita en el sitio www.ambientico.una.ac.cr.
- *Proyecto Plaguicidas*: tuvo por objeto trabajar con comunidades cercanas a áreas de producción agropecuaria manejadas con agroquímicos, a quienes se educaron y divulgaron evidencias sobre la problemática social generada por este tipo de producción intensiva.



En su inicio, el ICOMVIS se enfocó más en investigación, pero realizaron acciones de extensión, dentro de las que se resalta el trabajo de Christopher Vaughan, quien se afanó en la reinsertión de especies de fauna desaparecidas, resultado de la fuerte deforestación que sufría el país desde la década de 1960. El proyecto logró la inserción de la lapa roja con el establecimiento de nidos artificiales (Vaughan, 2019) y del venado cola blanco en el Pacífico norte. En el caso del INISEFOR, con la académica Dora Rodríguez se desarrolló extensión en cooperativas de la zona Sur del país, trabajando con COOPESILENCIO y otras organizaciones en el establecimiento de plantaciones forestales.

En 1993 inicia la ejecución del programa de Licenciatura en Educación Ambiental, el cual estuvo vigente hasta 2009, y que influencia significativamente proyectos de extensión con este enfoque. Entre estos se tiene la iniciativa de educación ambiental en el marco de una estrategia participativa para atender el cambio climático en el medio local, coordinada por las académicas Sonia Arguedas y Vanessa Valerio. El proyecto inició en San Rafael de Heredia y produjo los primeros esfuerzos hacia una metodología de adaptación al cambio climático en el contexto local, además tenía un importante componente de incidencia política en el orden municipal, acompañado de material didáctico en temas de cambio climático y manejo de residuos sólidos y orgánicos. Este proyecto continúa evolucionando con participación de las municipalidades de Belén, Grecia, Barva, Quepos, Pérez Zeledón y Osa en donde, además, se han incluido temáticas como la gestión de riesgo, emisiones de carbono y blindaje climático. A lo largo de los años, en este proyecto han participado otras unidades académicas, sedes de la UNA, estudiantes y varias personas académicas de la EDECA como Federico Alice, Alina Aguilar, Sergio Molina. A raíz de este proyecto y desde el interés de los participantes nace, en 2019, la Red Costarricense de Gobiernos Locales ante el Cambio Climático.

«Educación ambiental para la conservación en la península de OSA» fue otro proyecto de extensión en donde participó la EDECA y el ICOMVIS, bajo la responsabilidad de Sonia Arguedas y Grace Wong, y la Oficina de Extensión Comunal de la Universidad Estatal a Distancia (UNED). El proyecto educó en el ámbito ambiental y personal del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) y a educadores de la península por medio de capacitaciones y material educativo elaborado con base en investigación científica desarrollada por el académico Eduardo Carrillo.

Otras iniciativas de extensión se realizaron en la EDECA. A mediados de la década del 2000, el académico Wilberth Jiménez inició una línea de proyectos de investigación-extensión enfocados en el trabajo de pequeños productores agropecuario-forestales. Su primera iniciativa se realizó aproximadamente en el 2002, que consistió en un proyecto enfocado en forestería comunitaria de forma conjunta con el académico Emilio Vargas y la académica Ellen Sancho de la Escuela de Agrarias. En el 2008, en conjunto con Silvia Cavallini, ejecutan un proyecto en el que buscaban inventariar experiencias de sistemas agroforestales en Costa Rica, el

cual ejecutaron por dos años. Posteriormente, inició en conjunto con María José Avellán, una iniciativa con un fuerte componente de extensión sobre la sistematización de experiencias exitosas de personas productoras en fincas integrales de Costa Rica. Esta iniciativa conllevó la elaboración de material didáctico, ejecución de talleres de intercambio de experiencias y encuentros en el ámbito nacional. A raíz de este proyecto y desde el interés de los participantes, nace la Red de Fincas Integrales, la cual se constituye como Asociación Red de Fincas Integrales en el 2020.

Del 2016 a la actualidad, la EDECA ha desarrollado 20 proyectos con componente de extensión. En las temáticas destacan: gestión hídrica, fortalecimiento de ASADAS, restauración de manglares, impactos por consumo de tabaco, modelos de gestión de la calidad, movilidad urbana, remoción y emisión de gases de efecto invernadero (GEI), adaptación al cambio climático, experiencias de fincas integrales, bambú, fortalecimiento de capacidades de pequeños productores y dinámica de ecosistemas forestales en OSA. Estas experiencias han hecho efectivo el marco filosófico de la UNA, en el que se unen la extensión con la investigación y la docencia. Por tanto, la extensión es una acción sustantiva pilar en nuestro quehacer académico que aporta al desarrollo de las comunidades y los territorios. Esta ha provocado cambios, ha generado rutas de desarrollo, ha hecho protagonista a la comunidad en su propio desarrollo; constituye una retribución y un compromiso que tenemos con la sociedad por financiar la educación. La acción extensionista deberá continuar fortaleciéndose en la EDECA para seguir proyectando el conocimiento, el cambio y reflejar en la sociedad la Escuela y la Universidad que somos.



Retos y visión de futuro

No dudamos de que las próximas décadas tendrán importantes desafíos para la conservación y el uso sostenible de nuestros ecosistemas forestales. Para enfrentarnos a ellos la EDECA tiene para sí sus propios retos sobre los cuales hacemos acá una reflexión.

El primer reto será mantener una oferta académica actualizada y pertinente basada en principios de flexibilidad curricular que amplíe oportunidades a su estudiantado en el rango de grado y posgrado, con lo cual se gradúen profesionales forestales que

se comprometan a: i) extender las buenas prácticas de manejo forestal a todos los ecosistemas del país, tanto para la conservación y producción de bienes y servicios para las presentes y futuras generaciones; ii) impulsar la incorporación plena de las actividades forestales a nivel de finca para que la conservación de los ecosistemas y la producción forestal camine de la mano con la producción agropecuaria y agroindustrial, lo cual genere empleo y mejores condiciones de vida, con énfasis en las comunidades rurales del país; iii) mejorar la calidad ambiental en los espacios urbanos, por cuanto la mayoría de la población nacional vive en espacios ciudadanos cada vez más necesitados de tramas verdes y ecosistemas forestales saludables.

Un segundo reto será incidir para que se incorporen en las políticas de Estado aquellas políticas específicas para el sector forestal, las cuales deberán estar articuladas con el resto de las actividades productivas del país y reconociendo los aportes de la producción forestal a la economía nacional. A escala internacional deberemos seguir incidiendo también en las políticas internacionales de manera que el sector forestal se siga vinculando con las políticas de cambio climático, bioeconomía, energías renovables, turismo, construcción sostenible, entre otras.

Tercero, debemos desarrollar una investigación forestal que aporte conocimiento para el manejo de los ecosistemas forestales, la restauración de ecosistemas y el desarrollo de proyectos productivos. En este aspecto, es de vital importancia desarrollar paquetes tecnológicos para muchas especies locales que tienen gran potencial, ya sea por su belleza o por su rápido crecimiento. Esto involucra también productos forestales no madereros como las fibras, las resinas, las medicinas, tintes, entre otros, que además de considerar elementos técnicos que conduzcan a un mayor uso y rendimiento, aún existe una importante brecha de conocimiento en temas de calidad, mercadeo y comercialización, que les permitan obtener mayor rentabilidad.

En cuarto lugar, debemos internacionalizar la acción sustantiva de la EDECA. Esto implica desarrollar programas de movilidad estudiantil y de académicos que permitan conocer y aportar al desarrollo forestal en entornos culturales diversos, lo cual genera una cultura cosmopolita que transforme el proceso de enseñanza-aprendizaje. Para ello será necesario el uso de tecnologías de la información para facilitar procesos de mediación tecnológica en la docencia, y la participación en redes de investigación

a escala nacional e internacional para así aportar con proyectos innovadores y pertinentes ante las necesidades de conocimiento que se requieren en aras de tomar decisiones de buen manejo de los recursos forestales y el ambiente.

Si consideramos que en Costa Rica un tercio del área bajo bosques podría manejarse sustentablemente a perpetuidad generando riqueza y bienestar, principalmente en los territorios rurales que tanto lo requieren, queremos mencionar como último reto el reposicionamiento del sector forestal –en el imaginario social– como un sector que, además de contribuir con la conservación de los ecosistemas forestales y sus servicios ecosistémicos como agua, biodiversidad y belleza escénica, es un sector que permite la generación de riqueza por medio del manejo forestal sostenible. Considerando lo ya alcanzado y los retos acá mencionados, queda en evidencia que poner valor en la ingeniería forestal es apostar por el desarrollo sostenible.

Conclusiones

A lo largo de casi cinco décadas, la EDECA ha contribuido técnica y científicamente en el abordaje y búsqueda de soluciones a las problemáticas forestales y ambientales del país, con lo cual aporta una gran variedad de productos técnicos, políticos y educativos. El aporte al desarrollo forestal sostenible de Costa Rica se ha dado desde una perspectiva integral considerando los aspectos ecológicos, sociales y económicos, de esta manera contribuye con comunidades rurales y urbanas a través de proyectos de extensión e investigación financiados por la Universidad Nacional y a través de la vinculación externa con acuerdos de cooperación y prestación de servicios de alta calidad que contribuyen con la mejora de la calidad ambiental.

Desde su génesis, la EDECA ha formado más de 1600 profesionales en Ciencias Forestales, Gestión Ambiental y Educación ambiental, quienes, con sus diferentes capacidades, aportan a lo largo y ancho del país en empresas, instituciones públicas, municipios, centros agrícolas, agencias de cooperación y ONG.

En la década de 1970, cuando la EDECA nace, los problemas ambientales –de naturaleza global y local– cobraron relevancia en la sociedad. Hoy, cinco décadas después estos problemas son

cada vez más complejos, sistémicos y acuciantes, por lo que la necesidad de una EDECA innovadora, fortalecida y rigurosa en su quehacer es fundamental para apoyar el desarrollo sostenible y ambientalmente equilibrado de Costa Rica. Por tanto, la sociedad, sus líderes y las autoridades políticas competentes tienen en la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional un socio estratégico dispuesto a trabajar para generar programas de estudio, investigación y extensión innovadora para alcanzar las metas del desarrollo nacional. El equipo académico de la EDECA confía en que las universidades públicas sigan recibiendo los recursos que les han permitido contribuir de manera significativa al desarrollo, y en el caso de la Escuela de Ciencias Ambientales, al desarrollo en materia forestal y ambiental.

La Escuela de Ciencias Ambientales –con una trayectoria y experiencia de casi medio siglo– ha recibido el reconocimiento nacional e internacional por sus programas docentes, su investigación y extensión, tanto en el sector forestal como en el sector ambiental. Con esa experiencia acumulada, hoy la EDECA se proyecta hacia la internacionalización de su actividad sustantiva y busca consolidar programas de movilidad estudiantil y académica a fin de lograr una formación cosmopolita, apoyados en las tecnologías de la información y comunicación para que los procesos de enseñanza-aprendizaje sean significativos y acordes con las características del estudiantado del siglo XXI, nativos digitales acostumbrados al uso de la tecnología y para quienes el uso de esta abre enormes espacios de oportunidad más allá de las fronteras nacionales. Toda esta experiencia es la mejor carta de presentación de una unidad académica de la UNA que busca ubicarse entre las escuelas que mejor respondan a las necesidades de formación del país.

En el campo forestal, las estadísticas señalan que la tendencia en el mundo es hacia la producción y consumo de más madera (Molina-Murillo, 2020), entonces, debido a que la madera es un material renovable, que utiliza en su producción la energía solar y que los árboles fijan carbono que permanece por décadas en las casas y muebles, con la producción forestal, el país contribuye no solo con los compromisos nacionales e internacionales en materia climática y ambiental, sino al desarrollo de su economía y el bienestar de la población. Por tanto, la EDECA ha incorporado en el rediseño del Plan de Estudios de la carrera de Ingeniería en Ciencias Forestales una visión de producción-comercialización y

conservación que responde a los objetivos del Desarrollo Sostenible declarados por la UNESCO; es uno de los objetivos de dicho plan el formar profesionales que contribuyan a una mayor producción de madera en plantaciones, sistemas agroforestales, silvopastoriles y en bosques, con lo cual se apliquen las mejores prácticas del manejo forestal, no solo para disponer de un material natural para el consumo interno, sino también que las personas productoras de madera nacionales puedan competir en mercados internacionales por medio de una clara planificación de las áreas productivas y una consolidación de polos de desarrollo forestal.

El enfoque multi, inter y transdisciplinario que el personal de la EDECA ha desarrollado en su acción sustantiva docente, de investigación y de extensión, ha permitido abordar múltiples de los retos como centro de formación profesional. Una mirada hacia los próximos cincuenta años requerirá no solamente un enfoque técnico-científico riguroso y atinente, sino también innovación curricular, alianzas fortalecidas con el sector privado y las instituciones del Estado, y una participación activa en programas y redes internacionales.

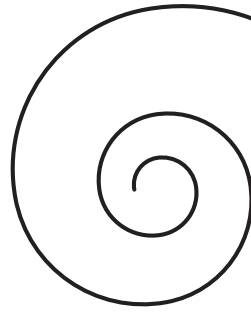
Agradecimientos

Los autores agradecen los múltiples y valiosos aportes que ofrecieron Wilbert Jiménez y Sonia Arguedas, académicos jubilados de la EDECA, quienes, por medio de varias entrevistas y envío de documentación, enriquecieron este documento.

Bibliografía

- Austin, K. (2010). The "Hamburger Connection" as Ecologically Unequal Exchange: A Cross-National Investigation of Beef Exports and Deforestation in Less-Developed Countries. *Rural Sociology*, 75(2), 270-299. <https://doi.org/10.1111/j.1549-0831.2010.00017.x>
- Bravo, J. (2005). Manglares de la península de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 30(1), 59-63. <https://doi.org/10.15359/rca.30-1.9>
- Bravo, J., Flores, T., & Mora, I. (1992). Mapeo de los humedales de Palo Verde, Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 8(1), 23-31. <https://doi.org/10.15359/rca.8-1.3>
- Goebel McDermott, W. A. (2013). Los Bosques del "Progreso" Explotación forestal y régimen ambiental en Costa Rica: 1883-1955. En *Los Bosques del "Progreso" Explotación forestal y régimen ambiental en Costa Rica: 1883-1955* (pp.1-344). San José, Costa Rica: Editorial Nuevas Perspectivas. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/75329>
- Kappelle, M. y Cleef, A. (2004). Adelaida Chaverri: ecóloga de tierras altas, conservacionista genuina. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 73, 1-7.
- López, M. L. (2021). Explotación del oro verde en Costa Rica: Matices sobre la deforestación entre 1900 y 1950. *Revista de Historia*, 84, 5-45. <https://doi.org/10.15359/rh.84.3>
- Molina-Murillo, S. (2020). Megatendencias al sector forestal mundial y del porqué debemos producir y consumir más madera. *Revista Ambientico*, 275, 4-11. <https://www.ambientico.una.ac.cr/revista-ambientico/megatendencias-al-sector-forestal-mundial-y-del-porque-debemos-producir-y-consumir-mas-madera/>
- Nygren, A. (1995). Deforestation in Costa Rica: An Examination of Social and Historical Factors. *Forest & Conservation History*, 39(1), 27-35. <https://doi.org/10.2307/3983623>
- Seligson, M. (1978). La reforma agraria en Costa Rica, 1942-1976: Evolución de un programa. *Estudios Sociales Centroamericanos*, 7(19), 55-84.
- SIREFOR. (2021). *FRA 2020 Report for Costa Rica* (p. 46). https://www.sirefor.go.cr/pdfs/publicaciones/FRA-FAO_2020-COSTA_RICA.pdf

Vaughan, C. (2019). Conservación de la lapa roja (*Ara macao*) con manejo in situ en el Pacífico Central de Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 53(2), 166-188. <https://doi.org/10.15359/rca.53-2.10>

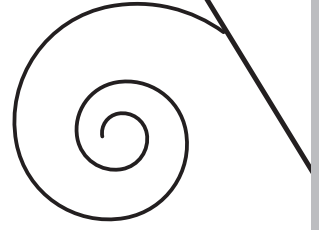


Capítulo VI

La gestión de los espacios protegidos dentro del quehacer científico de la UNA: los corredores biológicos como reto de la conservación de la biodiversidad

Luis Diego Alfaro Alvarado¹,
Carlos Morera Beita²,
Luis Fernando Sandoval Murillo³

-
- 1 Doctor en Ecología de la Universidad Federal de Minas Gerais, máster en Conservación y Manejo de Vida Silvestre e ingeniero en Ciencias Forestales con Énfasis en Manejo Forestal, UNA. Actualmente es coordinador del posgrado en Manejo y Conservación de Vida Silvestre y del Diplomado en Conservación y Manejo de Áreas Protegidas del ICOMVIS. Ha publicado varios artículos, instrumentos. Correo electrónico: luis.alfaro.alvarado@una.cr
 - 2 Doctor en Planificación Ambiental de la Universidad de Barcelona, máster en Manejo de Recursos Naturales de la Universidad de Arizona y licenciado en Geografía de la UNA. Profesor catedrático en la Escuela de Ciencias Geográficas con una amplia experiencia, donde cuenta con más 50 artículos científicos y seis libros sobre la temática. Correo electrónico: cmorera@una.cr
 - 3 Máster en Sistemas de Información Geográfica y teledetección, UNA-UCR, licenciado y bachiller en Ciencias Geográficas con Énfasis en Ordenamiento del Territorio, UNA, profesor de la Escuela de Ciencias Geográficas donde integra el Programa de Paisaje



Introducción

A principios del siglo XIX emerge la propuesta de áreas protegidas como espacios que aseguran la preservación de la biodiversidad y algunos recursos biofísicos. Sin embargo, durante las últimas décadas se identifica la escasa validez de esta estrategia, debido a la fragmentación. A principios del siglo XIX, emerge la propuesta de áreas protegidas como espacios que aseguran la preservación de la biodiversidad y algunos recursos biofísicos. Sin embargo, durante las últimas décadas se identifica la escasa validez de esta estrategia, debido a la fragmentación, degradación y sobreexplotación de los ecosistemas naturales que causa la pérdida de biodiversidad a escala global (Dirzo *et al.* 2014). Estas modificaciones estimulan cambios en la estructura del paisaje debido a las aceleradas tasas de deforestación y a las transformaciones en el uso de la tierra, lo cual incrementa el aislamiento de los remanentes de ecosistemas naturales y obstaculiza el movimiento natural de comunidades de especies entre estos fragmentos (Gurrutxaga *et al.* 2010). Situaciones como la anterior generan la ocurrencia de extinciones locales (Lindenmayer & Fischer, 2006), ya que, además de la pérdida de hábitat, otras amenazas a la biodiversidad se acrecientan como son: cacería, extracción de recursos, efecto de sustancias tóxicas, modificaciones en microclimas, invasión de especies no naturales, entre otros.

y territorio, además de presentar diversas publicaciones en la temática (23). Correo electrónico: luis.sandoval.murillo@una.cr

Para asegurar la preservación de las áreas protegidas, además de su establecimiento, se requiere establecer los corredores biológicos como estrategia para incrementar la conectividad ecológica, y mitigar con ello los efectos adversos que surgen del proceso de fragmentación. Asimismo, los corredores biológicos se interpretan como estructuras paisajísticas que minimizan algunos impactos generados por la fragmentación, como descenso de los hábitats, y tienen formas longitudinales con el fin de conectar áreas núcleos (Morera, Pintó y Romero, 2007). Por tanto, este capítulo tiene como objetivo describir el proceso de surgimiento de las áreas protegidas y su relación histórica con el quehacer de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar, así como las preocupaciones científicas recientes, enfatiza en los corredores biológicos e incluye el protagónico de nuestra facultad. Finalmente, se presentan algunas herramientas para la evaluación ecológica de los corredores biológicos como estudios de casos que aporten a los desafíos científicos de esta área de conocimiento.

Los cimientos de las áreas protegidas en Costa Rica y las primeras décadas de la Universidad Nacional

Los antecedentes de las áreas protegidas se remontan al siglo pasado como lo plantea Boza (2015), no obstante, es durante la década de los setenta cuando se inicia la consolidación de lo que en la actualidad se denomina el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). Durante esta década se establecen las áreas protegidas más relevantes en la categoría de Parques Nacionales como son: Cahuita, Isla de Coco, volcán Poás, Santa Rosa, Palo Verde, Manuel Antonio, Rincón de la Vieja, Barra Honda, Chirripó, Corcovado, Braulio Carrillo y Carara. La tendencia a establecer áreas protegidas estuvo permeada por la visión que Diegues (2002) denominada: "el mito de la naturaleza intocada", donde se abordaba la conservación *in situ* como cápsulas, fundamentado en la experiencia de los Estados Unidos, y que difería a la visión ecosistémica y de gobernanza participativa que domina en la actualidad. Esta visión se refuerza con la presencia de voluntarios del Cuerpo de Paz de los Estados Unidos, quienes aportan en los cimientos del sistema (Boza, 2015), entre estos se encontraban: Christopher Vaughan, Alan F. Barney, Stephen Cornelius, Curtis Freese, Keith Leber, Alan Moore, Anne Macey, entre otros.

El establecimiento de las áreas protegidas liderada por el Servicio Nacional de Parques recién fundado dentro de la Dirección Nacional Forestal, la cual estaba bajo la jurisdicción del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y el liderazgo de dos jóvenes: Álvaro Ugalde Víquez y Mario Boza Loría. Costa Rica daba los primeros avances en la fundación y la gestión de las áreas protegidas, donde Mario Boza, quien cursaba una maestría en el Centro Agronómico de Investigación (CATIE), realiza su tesis de posgrado denominada "Plan de manejo y desarrollo para el Parque Nacional Volcán Poás, Costa Rica" (Boza, 1968), que se puede considerar una investigación vanguardista sobre la gestión de las recién establecidas áreas protegidas del país. Posteriormente, Mario Boza se incorpora a la fundación de la escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional donde funcionó como enlace entre la UNA y el Servicio Nacional de Parques Nacionales.

De acuerdo a Joaquín Gamboa (comunicación personal), quien durante la década de los setenta labora como asistente de Álvaro Ugalde dentro del Servicio Nacional de Parques y participa en la fundación de la mayoría de los parques nacionales, para ese periodo urgía la información científica que entregara solidez a los argumentos para establecer las áreas protegidas, para lo cual académicos como Adelaida Chaverri, Jorge Poveda y Christopher Vaughan, así como estudiantes que posteriormente se incorporan como académicos como Jorge Barquero Hernández y Juan Bravo Chacón, entre otros, aportan con listas de especies (flora y fauna), así como los mapas de vegetación, geomorfología y uso de la tierra. De esta forma, en la recién fundada Universidad Nacional, inicia la colaboración con las áreas protegidas del país, siendo Mario Boza, quien fuera uno de los primeros directores de la Escuela de Ciencias Ambientales y Juan Cevo Guzmán, director de la Escuela de Ciencias Geográficas, unos enlaces primordiales entre las áreas protegidas y el interés científico de los académicos y estudiantes de la institución. Esta colaboración permitió a algunos académicos consolidarse como expertos, como es el caso de Juan Bravo Chacón, quien posteriormente se transforma en experto en el manejo de humedales del país, al igual que el caso de Jorge Barquero Hernández, como uno de los pioneros de la vulcanología, quien participa posteriormente en la fundación del Observatorio Vulcanológico de Costa Rica (OBSICORI). Asimismo, Christopher Vaughan y Adelaida Chaverri desarrollan la propuesta de los Parques Nacionales de Manuel Antonio y de Chirripó en 1972.

El establecimiento de las primeras áreas protegidas del país abre un nuevo horizonte de necesidades para lo que se conoce en la actualidad como ciencias de la conservación, como es la gestión de estas, para lo cual académicos de la Escuela de Ciencias Ambientales y la Escuela de Ciencias Geográficas colaboran en la formulación de planes de manejo de áreas protegidas (Cuadro 1). Dentro de esta línea de investigación se presentan varias publicaciones relevantes como la que se muestran en la Figura 1, la cual se mantiene hasta la actualidad.

Cuadro 1.

Lista de algunos planes de manejos de áreas protegidas desarrollados desde la Universidad Nacional.

Área Protegida	Participantes	Año
Plan de Manejo y Desarrollo: Parque Nacional Corcovado	Christopher Vaughan	1972
Plan de Manejo y Desarrollo: Refugio de Fauna Silvestre Rafael Lucas Rodríguez Caballero (Palo Verde).	Christopher Vaughan; Michael McCoy; Juan Bravo; Mario Rodríguez; Francisco Hodgson	1981
Plan de Manejo para el Parque Nacional Chirripó, Costa Rica.	Bravo-Chacón, J., Chaverri-Polini, A., & Solano, G.	1989
Plan de Manejo del Refugio de Vida Silvestre Isla Bolaños	Miranda, R., D. Pérez & C. Vaughan.	1987
Plan de Manejo para el Parque Nacional Palo Verde y Reserva Biológica Lomas Barbudal	Vaughan, C., M. McCoy, J. Fallas, H. Chaves, G. Barboza, G. Wong, J. Rau, M. Carranza & M. Carbonell.	1994.
Plan de Manejo de las Lagunas del río Cañas (Guanacaste, Costa Rica)	Bravo J. <i>et al.</i>	1994
Plan de Manejo de la Zona Protectora Cerros de Atenas	Morera C. Sandoval L.F., Calderón G., Alfaro L. D. y otros	2021
Plan General de Manejo del Refugio Vida Silvestre (proceso de sensibilización para actualización)	Arroyo M. y otros	2022

Área Protegida	Participantes	Año
Plan General de Manejo de Reserva Forestal Grecia: Plan de Educación Ambiental y Plan de Comunicación	Arroyo M. y otros	2022

Fuente: elaboración propia.

Figura 1.
Portadas de publicaciones de la EUNA sobre
Plan de Manejo de Áreas Protegidas



Fuente: archivo EUNA.

Estos planes de manejos de áreas protegidas inician los primeros abordajes multidisciplinarios, que se fortalecerían posteriormente con investigaciones como las realizadas por Rodríguez (1983) y Arrieta (1995) en lo que actualmente se denomina Refugio de Vida Silvestre de Caño Negro. De igual forma, las actividades realizadas por el Programa Cambios (cambio social, biodiversidad y sustentabilidad del desarrollo) liderado por Antonieta Camacho en la Escuela de Planificación y Promoción Social durante la década de los noventa y principios del 2000 (Camacho, 2002), desde el enfoque de investigación acción participativa que, aunque no aborda temas directamente de las áreas protegidas, estas se relacionan con la conservación

ecológica desde una perspectiva más amplia y fortalece la participación social local, que posteriormente se consolidaría con un nuevo abordaje dentro de la gestión de espacios de conservación. Desde esta misma óptica, son relevantes las investigaciones realizadas por Vargas (1999) sobre el uso cultural de la tortuga verde (*Chelonia mydas*) en el Caribe costarricense. Estos aportes de conocimiento han sido un insumo indispensable en la oferta académica de la UNA y permiten visiones innovadoras en las diferentes carreras de grado y posgrado que, en la actualidad, se desarrollan en la institución.

Tendencias actuales de investigación de las áreas protegidas: los corredores biológicos y el paisaje

La gestión de las áreas protegidas y los abordajes de la conservación ecológica durante la década del 2000, con la implementación de la regionalización de las áreas protegidas, así como los efectos del modelo económico que pierde su anclaje en el sector primario para centrarse en el de servicios, genera transformaciones en cuanto a ciencia e investigación en el país relacionado con la biodiversidad. De esta forma, durante las últimas décadas se ha destacado por las investigaciones sobre aspectos específicos acerca de las áreas protegidas como las realizadas por el equipo de académicos liderados por Dr. Eduardo Carrillo con respecto a la ecología de los felinos, especialmente en el Parque Nacional Corcovado y en el área de Conservación Guanacaste (Herrera, Chávez, Alfaro, L. D., Fuller, Montalvo, Rodríguez & Carrillo, 2018) desde la década de los noventa.

Asimismo, el aceleramiento del cambio climático y sus efectos adversos sobre la biodiversidad han causado una transformación acelerada de procesos como: la captación y acopio del recurso hídrico, el almacenamiento de carbono, los patrones de distribución y volumen de la precipitación, la disminución de la sensación térmica local, la estabilidad y la fertilidad de los suelos, el nivel del mar, lo cual ha incrementado los niveles de pobreza, los patrones de temperatura, entre otros (Morera, 2017). Como

respuesta al acelerado proceso de erosión genética, los esfuerzos globales y locales se han dirigido a la mitigación de las amenazas a la biodiversidad y a la funcionalidad de ecosistemas naturales que incluyen el establecimiento de corredores biológicos, y se han transformado en una importante herramienta para la conservación en el antropoceno (Beier & Noss, 1998; Didham, Tylianakis, Hutchison, Ewers, & Gemmill, 2005); Bailey, D. *et al.* (2010), Barlow, Louzada, Parry, Hernández, Hawes, Peres, & Gardner (2010), donde la UNA ha realizado investigaciones pioneras en el país.

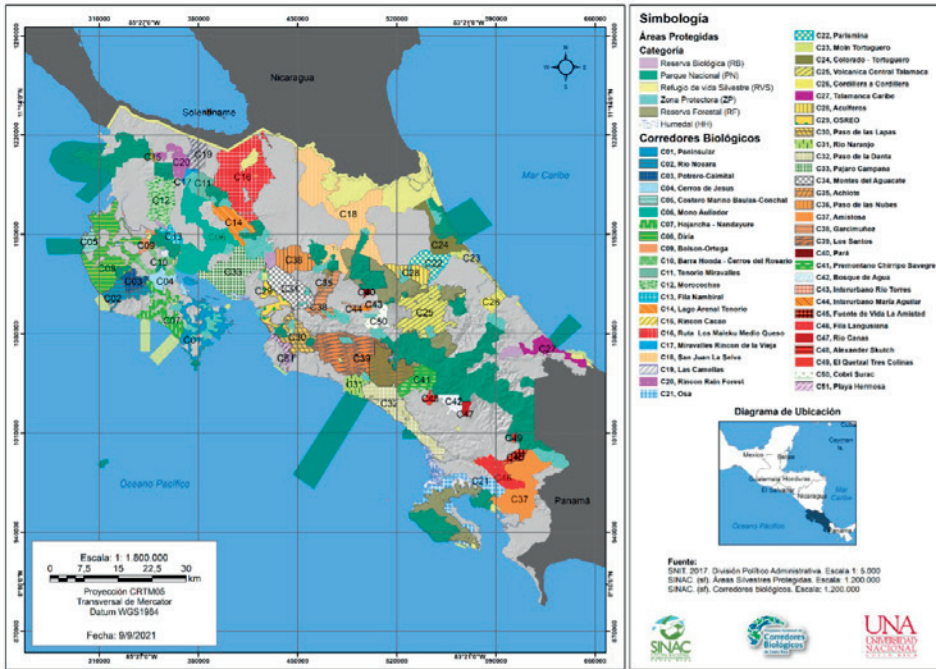
Desde inicios de este siglo, la Escuela de Ciencias Geográficas (Morera, Pintó, & Romero, (2007) ha realizado investigaciones sobre las redes ecológicas o corredores biológicos como estrategia para incrementar la conectividad ecológica y mitigar los efectos adversos que surgen del proceso de fragmentación, y ha facilitado las conexiones espaciales entre fragmentos de ecosistemas naturales para potenciar los desplazamientos, intercambios y complementariedad de los recursos genéticos concatenados por los procesos ecológicos de los ecosistemas y con ello alcanzar la preservación de la biodiversidad (Bosselmann, 2012). De acuerdo a Bennet (2004), los corredores biológicos son un espacio continuo de condiciones de hábitats apropiadas que se insertan en una matriz de usos de suelos antrópicos intensos, que se identifican para potenciar la conectividad del paisaje natural (Haddad, Brudvig, Damschen, Evans, *et al.*, 2014). Además, los corredores biológicos se interpretan como estructuras paisajísticas, que amortiguan algunos impactos adversos generados por la fragmentación (Fortran, 1997), tales como la disminución de los hábitats naturales (Morera, Pintó y Romero, 2007).

Algunos países, considerando en restablecer la conectividad de hábitats fragmentado ha establecido corredores biológicos, fundamentado en su relevancia como estrategia para la conservación de especies. En Costa Rica, mediante el Decreto Ejecutivo 40203, el Gobierno de la República (Ministerio de Ambiente y Energía, (2017) denomina a un corredor biológico como “un territorio continental, marino-costero e insular delimitado, cuyo fin primordial es proporcionar conectividad entre áreas silvestres protegidas: así como entre paisajes, ecosistemas y hábitat naturales o modificados tanto rurales o urbanos, que aseguran el mantenimiento de la biodiversidad y los procesos ecológicos y evolutivos: proporcionando espacios de concertación social para

promover la inversión en la conservación y uso sostenible de la biodiversidad en esos espacios” (p. 2). En Costa Rica, por su gradiente ecológica y su localización estratégica en el istmo de América Central que conecta el Neotropical regional (América del Sur) con el Neártico (América del Norte), permitiendo las migraciones de flora y fauna en ambas direcciones (Kappelle, 2016), se incrementa la relevancia de los corredores biológicos para el continente. Las condiciones de conectividad espacial del país se suman a la variación de los tipos de suelo, las diferencias geomorfológicas y de altitud que han determinado una gran biodiversidad a pesar de contar con una superficie terrestre relativamente pequeña (51 100 km²) que según Criado-Hernández y Marín-Cabrera (2008), tiene alrededor del 5 % de la biodiversidad mundial.

Esta amplia diversidad del país está resguardada por medio de 148 espacios protegidos que preservan el 25 % del territorio continental del país, de los cuales los más significativos son los parques nacionales que son 33 y cubren el 11.9 %, y las reservas biológicas (8 y 0,4 %) que presentan un alto valor por sus particularidades ecológicas, con lo cual se ha decretado su uso exclusivamente a la conservación ecológica. Existen otras categorías donde la gestión se realiza sobre territorios privados o mixtos tales como: refugio de vida silvestre, reservas forestales, zona protectoras y humedades, que son 58 espacios protegidos que preservan el 8.9 % del país. Durante este siglo, en cuanto a políticas de conservación ecológica, el Estado ha centrado sus acciones en generar espacios de conectividad para las áreas protegidas como respuesta para enfrentar problemáticas de aislamiento funcional y genético, las cuales han tomado relevancia dentro de las actuales condiciones de cambio climático que enfrenta el planeta. Para 2021, el país contaba con 51 corredores biológicos, que cubrían el 38 % del territorio nacional (Fig. 2).

Figura 2.
Corredores Biológicos de Costa Rica, 2021.



Fuente: brochure generado por Proyecto de Corredores Biológicos y Programa Nacional de Corredores Biológicos, SINAC.

Considerando la necesidad de establecer y gestionar los espacios de conectividad, la Escuela de Ciencias Geográficas (ECG), desde hace quince años, ha realizado investigaciones sobre paisajes y redes ecológicas, en este sentido, organiza cuatro eventos internacionales sobre la temática, el último en octubre del 2019 (Fig. 3) con una participación de 150 personas del COLAC (Consejos Locales de los Corredores Biológicos), SINAC, académicos, técnicos y estudiantes), como espacios de socialización del conocimiento generado, para lo cual se han publicado tres libros a más de 20 artículos, así como varios capítulos de libros relacionados. Por otro lado, el Instituto para la Conservación y Manejo de la Vida Silvestre (ICOMVIS), desde hace más de tres décadas, ha investigado sobre el monitoreo de la vida silvestre que le permite contar con un conocimiento robusto, así como el manejo de técnicas que facilitan la evaluación y la identificación de indicadores de los movimientos de especies dentro de los Corredores Biológicos. Considerando lo anterior, se ha establecido un equipo multidisciplinario

que ha permitido aportar a la evaluación de la efectividad de los corredores biológicos en el país como espacios de conectividad.

Figura 3.

Personas participantes de las sesiones del Simposio Internacional de Corredores Biológicos, noviembre, 2019.



Fuente: archivo de ICOMVIS.

Ejes de la investigación en Corredores Biológicos en Costa Rica

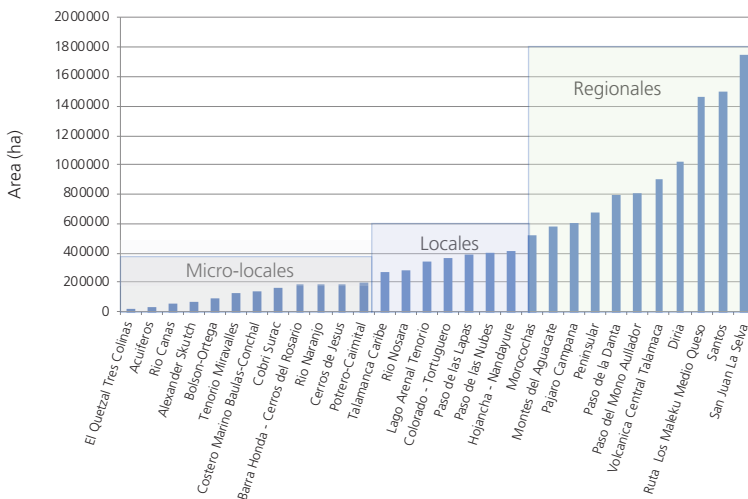
Durante las décadas de investigación sobre la temática, se han reconocido tres ejes de conocimiento que son:

a) Conectividad estructural y funcional en corredores biológicos

La ECG y el ICOMVIS, fundamentados en la necesidad de valorar los corredores biológicos del país, han implementado proyectos de investigación donde se han evaluado estos espacios de conservación desde la perspectiva de métricas de estructura de paisaje (cantidad, tamaño medio y desviación estándar de los fragmentos), además, la funcionalidad ecológica, el monitoreo de los procesos de fragmentación-conectividad y la ubicación, según los pisos altitudinales con el fin de determinar su funcionalidad como espacios de conectividad (Morera Sandoval, & Alfaro, 2021). En las investigaciones anteriores se ha utilizado el enfoque sustentado por la ecología del paisaje (Moss, 2001); específicamente, la propuesta por la escuela norteamericana denominada Matriz-Parche-Corredor (Forman, 2014). La investigación concluyó que pocos (4) son los corredores biológicos que funcionan efectivamente como adaptación al cambio climático, debido a que en sus diseños no se consideran tres o más zonas

de vida, asimismo la superficie de estos es muy heterogénea (Fig. 4). Asimismo, aplicando ecuaciones de conectividad/fragmentación (Reyes, Morera, & Pérez, 2017), se evidencia que el 80 % de los corredores biológicos durante el periodo 2000-2015, a pesar de que no han existido acciones fuera de la priorización en la asignación de servicios ambientales dentro de estos, han mejorado sus condiciones de conectividad funcional.

Figura 4.
Clasificación de los Corredores Biológicos
según su escala territorial en Costa Rica.



Fuente: Morera, Sandoval & Alfaro, 2021

b) Biodiversidad y procesos ecológicos en Corredores Biológicos

Un corredor biológico puede ser considerado un sistema complejo, ya que tiene características de ser autoorganizativos en sus estructuras naturales, y autorreflexivos en su componente socio-económico (Muñoz-Morales, 2022). Las formas estructurales de origen naturales presentan la particularidad de ser cambiantes por efectos de la adaptabilidad a las condiciones ambientales, en comparación con ecosistemas conservados en áreas silvestres protegidas. Por tanto, el desarrollo de conocimiento y comprensión sobre su dinámica está muy relacionado con niveles altos de incertidumbre, de ahí la complejidad que también involucra su estudio.

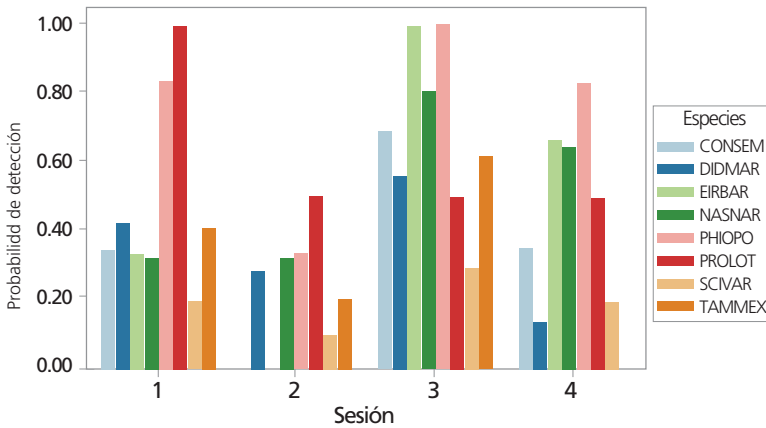
Rahbek *et al.* (2019) plantea que los factores que promueven la mayor diversidad son una mayor complejidad topográfica y la red de productividad primaria neta, así como las condiciones climáticas de temperatura y precipitación, es decir, una combinación precisa para generar alta biodiversidad. Por tanto, al estar nuestro país en la región neotropical, donde la rareza es dominante, la riqueza de especies y sus rasgos ecológicos son indicadores de la funcionalidad de un corredor biológico. A su vez, la salud de la vegetación autóctona que permite el desarrollo de nichos y recursos para la proliferación de la fauna silvestre deben ser elementos para considerar para la evaluación de un corredor biológico. Por tanto, Marneweck *et al.* (2022) proponen el uso de carnívoros pequeños (<21.5 kg) como indicadores de grados de alteración en los ecosistemas, así como de los efectos del cambio climático. Los carnívoros pequeños son taxonómicamente más diversos que los grandes carnívoros, lo que hace posible para múltiples especies convertirse en indicadores de diferentes tipos de ecosistemas.

Para evaluar la integridad ecológica a partir de indicadores en un corredor biológico, en las investigaciones realizadas dentro del caso de estudio del Corredor Biológico Montes del Aguacate (CBMA), durante el período 2019-2021, que abarca los cantones de Atenas, Palmares y San Ramón con una extensión de 55 220 ha, se diseñaron y validaron herramientas para el monitoreo de corredores biológicos desde el enfoque de la ecología funcional.

Por ejemplo, en el caso de lo propuesto por Marneweck *et al.* (2022), se lograron identificar, durante cuatro sesiones de tres meses y mediante el uso de cámaras trampa, 24 especies de mamíferos no voladores, de los cuales al menos 10 son considerados carnívoros pequeños, mientras que apenas una sola especie de carnívoro grande fue detectado en cuerpos de agua, tanto en el sotobosque (hasta 2 m) como en el subdosel (12-15 m) del bosque de ribera del CBMA (Fig. 5). Por tanto, los carnívoros pequeños pueden ser un excelente indicador de conectividad y salud de los ecosistemas dada la mayor riqueza de especies que utilizan diferentes hábitats dentro de un corredor biológico.

Figura 5.

Probabilidad de detección para mamíferos silvestres con uso de hábitat mixto (subdosel y sotobosque) en el Corredor Biológico Montes del Aguacate, durante el período 2018-2019. Los códigos de especies corresponden a *Conepatus semistriatus* (CONSEM), *Didelphis marsupialis* (DIDMAR), *Eira barbara* (EIRBAR), *Nasua narica* (NASNAR), *Philander opossum* (PHIOPO), *Procyon lotor* (PROLOT), *Sciurus variegatoides* (SCIVAR) y *Tamandua mexicana* (TANMEX).

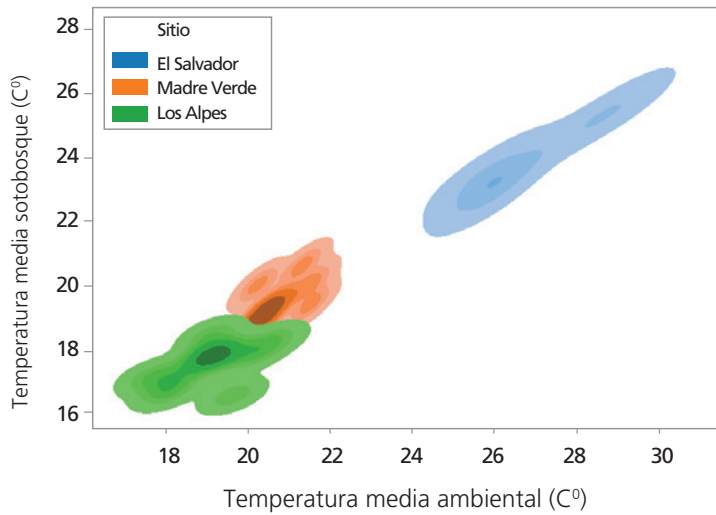


Fuente: elaboración propia.

Dadas las relaciones entre clima y biodiversidad, según Rahbek *et al.* (2019), en el caso del CBMA, la existencia de los diferentes pisos altitudinales define la diferencia entre la temperatura ambiental y la temperatura que se presenta en el sotobosque (franja entre el suelo y 2 m de altura). Esta se traduce en un espacio considerado un verdadero refugio climático para las diferentes especies que lo utilizan y que, sin la existencia de este microclima, la mayoría no podría existir (Fig. 6).

Figura 6.

Relación entre la temperatura media ambiental y la temperatura media en el sotobosque (franja entre el suelo y 2 metros de altura), en tres sitios del Corredor Biológico Montes del Aguacate con diferentes altitudes (El Salvador 600 msnm, Madre Verde 1200 msnm y Los Alpes 1500 msnm).

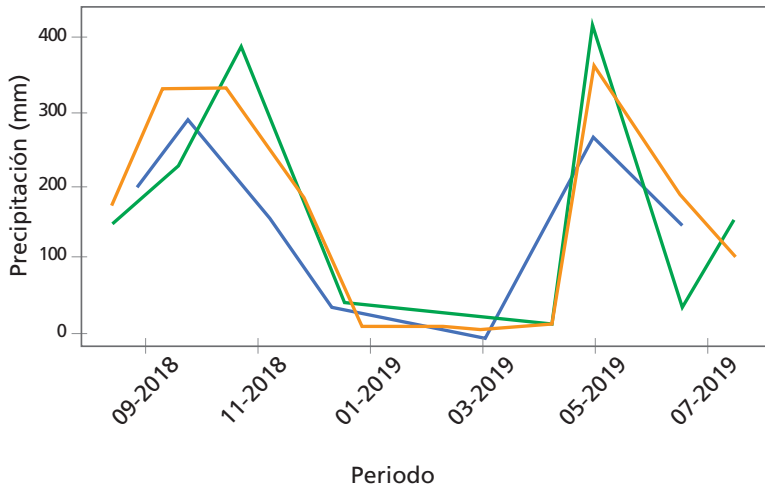


Fuente: elaboración propia.

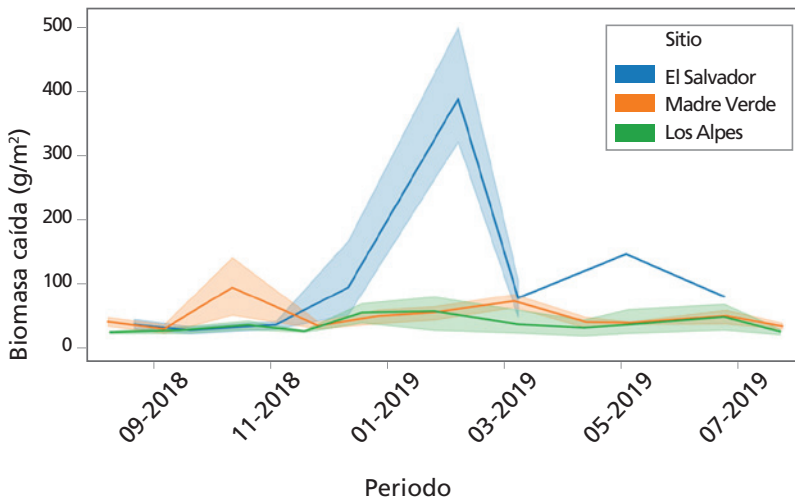
La producción primaria neta como promotor de la biodiversidad es un indicador clave dentro de los corredores biológicos. En el CBMA, mediante la cuantificación de la biomasa caída a partir de trampas, se comprueba que en sitios de altitudes bajas aumenta la caída de material vegetativo y reproductivo de forma estacional (Wood *et al.* 2008), dadas las condiciones de disminución en el régimen de precipitación (Figura 7). Los sitios de altitudes medias tienden a tener mayor constancia en cuanto a la producción mensual de biomasa, lo que causa diferentes ensamblajes de especies entre estas dos condiciones climáticas. La pérdida de la mayoría de las hojas durante el período seco, en bosques de altitudes bajas, aunado a la disminución en la precipitación, también aumenta la incidencia de radiación solar, viento y, por tanto, se generan condiciones menos favorables para las especies. La conectividad entre sitios de diferentes pisos altitudinales puede ofrecer una oportunidad de permanencia para especies que requieren migrar ante los cambios en las condiciones de humedad y temperatura.

Figura 7.

Biomasa caída en trampas colocadas en el sotobosque en tres sitios del Corredor Biológico Montes del Aguacate con diferentes altitudes.



Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.

Finalmente, la interacción entre especies de flora y fauna es elemental para mantener la integridad ecológica. En el CBMA, la vegetación que se asocia con ríos dentro de corredores biológicos depende de las especies de animales para su dispersión

(Hawes *et al.* 2020), pues, hasta un 61 % de las especies requieren que las semillas transiten por el tracto digestivo de mamíferos y aves para tener éxito en su diseminación, así como un 13 % necesitan del traslado de frutos por fauna silvestre y solo el 26 % utiliza otros medios de dispersión como el viento, el agua y la autodispersión.

c) Gobernanza participativa en la gestión de los corredores biológicos

Indiscutiblemente, la popularidad de la estrategia de corredores biológicos en el país ha sido un factor que obliga a revisar su efectividad como espacios de conectividad estructural y funcional; no obstante, otra razón es su validez desde la gobernanza participativa. De 2019 al 2021, la cantidad de corredores biológicos reconocidos por el Programa Nacional de Corredores Biológicos, pasó de 44 a 51 iniciativas, un crecimiento significativo especialmente en lo relacionado con corredores interurbanos. De acuerdo con la normativa nacional, el establecimiento de corredores biológicos por parte del SINAC depende de cumplir con tres requisitos: contar con perfil técnico y un plan estratégico, así como un comité local debidamente juramentado, requisitos que, cerca del 15 % de las iniciativas no cumplen, lo cual produce que existan algunos corredores biológicos debidamente reconocidos por su gestión y otros invisibles desde esta perspectiva.

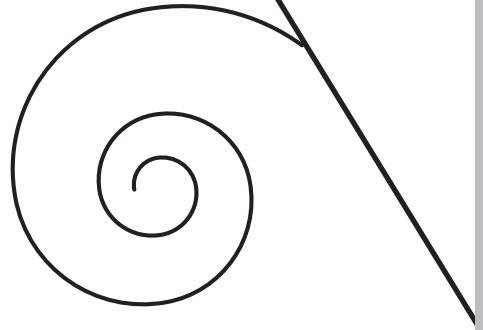
Lo anterior genera la necesidad de acompañar a estos Comités Locales, especialmente considerando que cerca del 38 % de territorio nacional se localiza dentro de un corredor biológico, para lo que debe construir plataformas de diálogo donde los diferentes actores locales (municipalidades, asadas, organizaciones comunales, organizaciones ambientalistas, empresa privada, sector educativo) puedan establecer alianzas que faciliten la consolidación de la gestión participativa de los corredores biológicos. Las acciones de estos grupos deben estar orientados a identificar acciones que faciliten la conectividad, tanto funcional como estructural, pero también que generen ingresos económicos para los pobladores locales como incentivos para potenciar la conservación de la biodiversidad.

Bibliografía

- Arrieta, O. (1996). Caño Negro: un caso de pobreza rural y de fragilidad ecológica en Costa Rica. *Documents d'anàlisi geogràfica*, (28), 099-116.
- Barlow, J., Louzada, J., Parry, L., Hernández, M. I., Hawes, J., Peres, C. A., ... & Gardner, T. A. (2010). Improving the design and management of forest strips in human? dominated tropical landscapes: a field test on Amazonian dung beetles. *Journal of Applied Ecology*, 47(4), 779-788.
- Beier, P., & Noss, R. F. (1998). Do habitat corridors provide connectivity? *Conservation Biology*, 12(6), 1241-1252.
- Bennett, A. F. (2004). Enlazando el paisaje: el papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre. IUCN.
- Bosselmann, A. S. (2012). Mediating factors of land use change among coffee farmers in a biological corridor. *Ecological Economics*, 80, 79-88.
- Boza, M. (1968). Plan de manejo y desarrollo para el Parque Nacional Volcán Poás, Costa Rica. CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Boza, M. A. (2015). Historia de la conservación de la naturaleza en Costa Rica: 1754-2012. Editorial Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- Camacho, A. (2002). Derechos comunitarios y enlace de saberes. Experiencias desde la universidad. *Revista de Ciencias Ambientales*, 23(1), 42-49.
- Criado-Hernández, J., & Marín-Cabrera, M. (2008). Conservación de la biodiversidad y desarrollo humano en bosques montanos de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 21(1), p. 253.
- Didham, R. K., Tylianakis, J. M., Hutchison, M. A., Ewers, R. M., & Gemmill, N. J. (2005). Are invasive species the drivers of ecological change? *Trends in ecology & evolution*, 20(9), 470-474.
- Diegues, A. C. S. A. (2000). El mito moderno de la naturaleza intocada. Editorial Abya Yala. Quito, Ecuador.
- Fortran, R. (1997). Land Mosaics: The ecology of landscape and regions. London. United Kindon.

- Haddad, N. M., Brudvig, L. A., Damschen, E. I., Evans, D. M., Johnson, B. L., Levey, D. J., Orrock, J. L., Resasco, J., Sullivan, L. L., Tewksbury, J. J., Wagner, S. A. and Weldon, A. J. (2014), Potential Negative Ecological Effects of Corridors. *Conservation Biology*, 28: 1178-1187. doi:10.1111/cobi.12323
- Hawes, J. E., Vieira, I. C. G., Magnago, L. F. S., Berenguer, E., Ferreira, J., Aragão, L. E. O. C., Cardoso, A., Lees, A. C., Lennox, G. D., Tobias, J. A., Waldron, A., & Barlow, J. (2020). A large-scale assessment of plant dispersal mode and seed traits across human-modified Amazonian forests. *Journal of Ecology*, 108(4), 1373-1385. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13358>
- Herrera, H., Chávez, E. J., Alfaro, L. D., Fuller, T. K., Montalvo, V., Rodríguez, F., & Carrillo, E. (2018). Time partitioning among jaguar *Panthera onca*, puma *Puma concolor* and ocelot *Leopardus pardalis* (Carnivora: Felidae) in Costa Rica's dry and rainforests. *Revista de Biología Tropical*, 66(4), 1559-1568.
- Kappelle, M. (2016). Costa Rican Ecosystems. University of Chicago Press. Krosby, M., Theobald, D. M., Norheim, R., & McRae, B. H. (2018). Identifying riparian climate corridors to inform climate adaptation planning. *PLoS ONE*, 13(11), 1-18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205156>
- Marneweck, C. J., & Jensen, A. J. (2022). Middle-out ecology: small carnivores as sentinels of global change. 1-9. <https://doi.org/10.1111/mam.12300>
- Mora Sibaja, J., Aguilar Monge, I., Morera Beita, C., Guevara-Mora, M., & Alfaro Alvarado, L. D. (2021). Distribución espacial de las abejas meliponas (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) en el Corredor Biológico Montes del Aguacate, Costa Rica. *Revista Chilena de Entomología*, 47(3 SE-Arthropod Ecology and Biological Conservation). <https://www.biotaxa.org/rce/article/view/70340>
- Reyes, H., Morera, C. & Pérez, Ó. (Eds.). (2017). *Geografía ambiental: métodos y técnicas desde América Latina*. EUNA. Heredia, Costa Rica.
- Ministerio de Ambiente y Energía. (2017). Decreto Ejecutivo DE-40203-MINAE. San José, Costa Rica.
- Morera C., Sandoval, L. F., & Alfaro, L. D. (2021). Evaluación de corredores biológicos en Costa Rica: estructura de paisaje y procesos de conectividad-fragmentación. *Revista Geográfica de América Central*, (66), 106-132.

- Morera C. (2017) Cambio Climático y turismo: reflexiones desde América Latina. En: Temas pendientes y nuevas oportunidades de cooperación en turismo Quintana Roo, Tarragona, Cancún 2017. Editado por Marta Gemma Nello Andreu Alba Font Barnet Publicacions Universitat Rovira i Virgili Av. Catalunya, 35 - 43002 Tarragona Tel. 977 558 474 · publicacions@urv.cat www.publicacions.urv.cat
- Morera, C., Pintó, J., & Romero, M. (2007). Procesos de Fragmentación y Corredores Biológicos: una introducción. *Journal of Latin American Geography*, 7(2), 164-166.
- Muñoz-Morales, D. (2022). Hipercomplejidad: Los sistemas complejos autoreflexivos. En Baraona-Cockrel Miguel (Eds.), Humanismo, complejidad e interdisciplina (219-238 pp.). EUNA.
- Rahbek, C., Borregaard, M. K., Colwell, R. K., Dalsgaard, B., Holt, B. G., Morueta-Holme, N., Nogues-Bravo, D., Whittaker, R. J., & Fjeldså, J. (2019). Humboldt's enigma: What causes global patterns of mountain biodiversity? *Science*, 365(6458), 1108 LP-1113. <https://doi.org/10.1126/science.aax0149>
- Rodríguez Cervantes, S., & Quirós, R. (1987). Caño Negro: una experiencia de extensión interdisciplinaria y amplia participación popular. *Biocenosis*. Nueva Serie (Costa Rica) v. 4 (no. esp.), pp. 67-71.
- Vargas-Mena, E. (1999). Los significados culturales de la tortuga verde (*Chelonia mydas*) en el Caribe costarricense. *Perspectivas Rurales* (Costa Rica). (3(2), 69-80.
- Wood, T. E., Lawrence, D., & Clark, D. A. (2005). Variation in leaf litter nutrients of a Costa Rican rain forest is related to precipitation. *Biogeochemistry*, 73(2), 417-437. <https://doi.org/10.1007/S10533-004-0563-6>

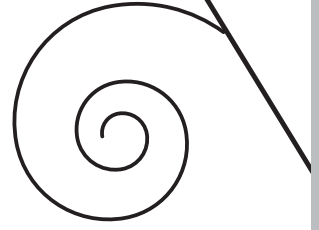


Capítulo VII

Desarrollo del área de materiales en el departamento de física

Svetlana Nikolaeva¹,
José J. Saavedra Arias²,
Christian Chaverri Ramos³
y Giovanni Sáenz Arce⁴

-
- 1 Catedrática jubilada de la Universidad Nacional, Costa Rica (UNA), Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Tiene una maestría en Ingeniería Petroquímica, Instituto de Petroquímica de Moscú.
 - 2 Catedrático de la Universidad Nacional, Costa Rica (UNA), Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Es bachiller en Física de la Universidad de Costa Rica y obtuvo su doctorado en Física Química de la Universidad de Puerto Rico.
 - 3 Es académico del Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEN), Universidad Nacional (UNA). Es bachiller en Física de la Universidad de Costa Rica. Tiene una maestría en Energías y Combustibles para el Futuro de la Universidad Autónoma de Madrid, España.
 - 4 Académico, Universidad Nacional, Costa Rica (UNA), Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Es bachiller en Física de la Universidad de Costa Rica. Se graduó de la maestría Nanoscience and Molecular Nanotechnology de la Universidad de Alicante, España. Doctorado en Nanoscience and Nanotechnology con mención Europea de la Universidad de Alicante, España.



El Departamento de Física desde su fundación cuenta con el personal capacitado para realizar investigaciones en diferentes áreas de conocimiento en el campo de energías, propiedades físicas y comportamiento de materiales.

En el año 1992 se crea el Laboratorio de Materiales Industriales (LAMI) como parte del Departamento de Física, de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEN) de la Universidad Nacional (UNA), Costa Rica, con el objetivo de formar un grupo de investigadores interesados en desarrollar la Ciencia e Ingeniería de Materiales, y poder colaborar con la educación, las instituciones e industria nacional. Esto llevó a que esta línea de investigación fuera declarada como una de las áreas prioritarias del Departamento. Para lograr esto, se trabajó en la presentación de incontables propuestas, proyectos y actividades que permitieran atraer el financiamiento necesario; todo esto liderado por la académica y catedrática M.Sc. Ing. Svetlana Nikolaeva, culminando con la compra de equipo de laboratorio que permitió realizar análisis y caracterizaciones, de los nuevos materiales desarrollados en los proyectos financiados (Figura 1).

Figura 1.

Primeros equipos del LAMI: a. Máquina de ensayos universales: tensión y flexión; b. Péndulo de Impacto; c. Fresadora; d. Microscopio óptico; e. Balanza analítica; f. Incubadora; g. Plotter.



Fuente: Departamento de Física de la UNA.

En un inicio, todos estos equipos estuvieron ubicados en las instalaciones del Departamento de Física, específicamente en oficinas cedidas para tal fin y en un espacio al lado de las antiguas instalaciones del taller de metalmecánica.

En el año 2004 se incorporan académicos y técnicos con el objetivo de realizar actividades que contribuyeron al crecimiento del LAMI, con lo cual se permitió consolidar el trabajo previo y su proyección a futuro. Algunos de estos académicos contaron con la oportunidad de optar por cursos de especialización, iniciar estudios de maestrías y doctorados en áreas afines a la Ciencia e Ingeniería de Materiales, apoyados por el Departamento de Física.

A partir del 2010, algunos miembros del LAMI, junto con algunas personas del Departamento de Física, empiezan a trabajar en una propuesta de infraestructura de edificación, equipamiento

y becas para concursar como una de las iniciativas del empréstito del Banco Mundial para el mejoramiento de la educación superior pública, del cual la Universidad Nacional fue parte.

La iniciativa se conoció como BM04 y se dividió en tres partes: edificación, becas y equipo científico-tecnológico. La parte constructiva implicó el diseño de un nuevo edificio en el Campus Omar Dengo, así como la selección y preparación del espacio físico, por lo que se tuvo que demoler las instalaciones que albergaron el antiguo taller de metalmecánica, el aula de la Maestría de Física Médica, el LAMI y otros programas.

Figura 2.

Algunos de los académicos participantes de la iniciativa BM04: de izquierda a derecha: Dr. Giovanni Sáenz Arce, M.Sc. Carlos Rodríguez Aguilera, B.Sc. Anthony Esquivel Cambronero, Dr. Esteban Picado Sandí y Dr. José J. Saavedra Arias. Al fondo, vista lateral del edificio de Física Médica Aplicada en construcción.



Fuente: Departamento de Física de la UNA.

Figura 3.
Vista lateral del nuevo Edificio de Física Médica Aplicada.



Fuente: archivo del Departamento de Física de la UNA.

La construcción del edificio inició en 2017 y concluyó a finales de 2018. Cuenta con cuatro (4) plantas donde se albergan los primeros equipos del LAMI y los nuevos equipos para investigación en materiales, radiaciones ionizantes y transformación y almacenamiento de energía.

En la parte de becas, se brindó el apoyo necesario para que cuatro académicos realizaran programas de doctorado en el extranjero, de los cuales se puede destacar un doctorado en Ingeniería con énfasis en Energías Renovables y el doctorado en Física con aplicaciones en materiales poliméricos para la detección de radiación ionizante.

En cuanto a la compra de equipos, se logra concretar la compra de un Microscopio Electrónico de Barrido (SEM, por sus siglas en inglés), un Difractómetro de Rayos X (XRD, por sus siglas en inglés) y un detector de germanio hiperpuro.

En paralelo a esta iniciativa se presentaron varias propuestas de proyectos, tanto de investigación como para el fondo de

equipamiento científico-tecnológico, lo que permite contar en la actualidad con equipo para simulaciones computacionales, síntesis y caracterización de materiales, en aplicaciones como transformación y almacenamiento de energía, radiaciones ionizantes, nanociencia y nanotecnología, fabricación, instrumentación, entre otros campos de investigación y desarrollo.

Investigación

En el año 1992, las investigaciones en Ciencia e Ingeniería de Materiales y sus aplicaciones iniciaron con el proyecto «Comparación de propiedades físicas de los productos obtenidos de los desechos agroindustriales», realizado en conjunto con el Laboratorio de Investigación y Tecnología de Polímeros (PoliUNA) de la Escuela de Química, bajo el Programa de Investigación en el aprovechamiento de desechos agroindustriales. Como resultado de esta investigación se caracterizaron diferentes materiales poliméricos, tales como:

1. Resina poliéster por microscopía electrónica y los resultados fueron presentados en dos tesis de grado y en la segunda conferencia en Roma, Italia, «World conference and technology exhibition on biomass for energy, industry and climate protection».
2. Quitina y quitosano y los resultados fueron presentados en la tesis de grado de Licenciatura en Química Industrial, «Obtención de quitosano a partir del langostino y valoración de sus propiedades farmacéuticas», del estudiante Sergio Madrigal Carballo.
3. Mezclas de polipropileno con fibras de banano con tres tesis de grado de licenciatura. Se seleccionaron y se aplicaron siete estándares ASTM para la caracterización de suelos y materiales de construcción. Se participó en el desarrollo del área de nanomateriales en el LANOTEC del CENAT y se elaboró un póster, «Caracterización de materiales poliméricos y compuestos nanoestructurados». Se aprobó el proyecto conjunto con la Universidad de Alicante para la formación de profesores costarricenses en nanotecnología que entró en ejecución en 2008. Además de varios cursos y talleres

impartidos, se publicaron dos artículos, 12 presentaciones en diferentes eventos nacionales e internacionales y seis tesis de grado.

Aunado a lo anterior, el LAMI, junto con el PoliUNA, participó en la red CYTED Subprograma IV de Desechos Agroindustriales con los proyectos:

- Análisis estructural de celulosas y sus derivados a partir de los desechos agroindustriales (1993-1995). Como resultado, fue elaborado el Manual de operaciones para el primer difractor de rayos X de la UNA, se presentaron resultados de la investigación en el «Taller sobre minimización de residuos y producción más limpia en América Latina y el Caribe en México», y una publicación en la *Revista del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos*: «POLIUNA frente al desarrollo del área de polímeros» (1993). Además, de participaciones en cursos y realización de análisis de los materiales.
- Evaluación de las propiedades físico-químicas de los desechos plásticos utilizados en la producción bananera (1994-1997). Se realizaron análisis de materiales por difracción de rayos X y microscopía electrónica. Se publicaron artículos sobre los resultados obtenidos en la *Revista Tecnología en Marcha*: «Estudio preliminar de la cristalinidad de los productos obtenidos de desechos de piña» (1996). También se publicó el capítulo «Manejo adecuado de los desechos sólidos en industria» (UNED, 1997), y fueron presentados los resultados en cuatro eventos internacionales y dos nacionales.
- Obtención de poliuretanos reforzados a partir de desechos agroindustriales (1995). Como resultado fueron caracterizados los materiales obtenidos, los resultados se presentaron en el seminario nacional, «100 años del descubrimiento de los Rayos X», y se impartió un ciclo de conferencias titulado, «Diseño de nuevos materiales poliméricos» en la Universidad Nacional.
- Nuevos componentes ecológicamente limpios a partir de desechos de la producción bananera (1998-1999). Se caracterizaron los materiales obtenidos y se trabajó con la industria bananera nacional para la minimización de los desechos.

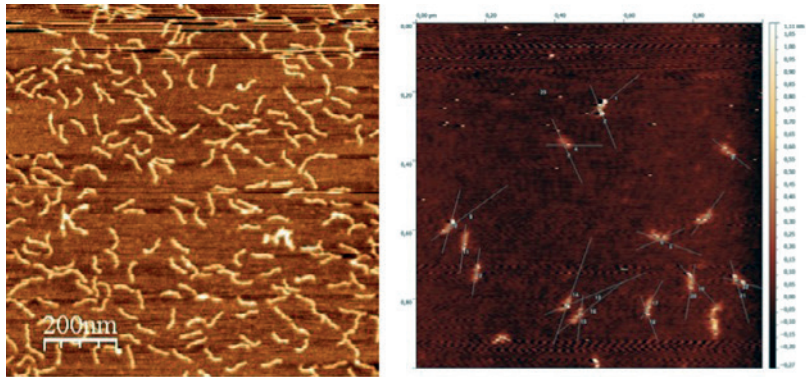
Además, se llevaron a cabo los proyectos para el estudio de zeolitas en conjunto con la Universidad Nacional Autónoma

de México (UNAM): «Caracterización de materiales poliméricos y compuestos» (2002-2003) y «Caracterización de materiales inorgánicos y su aplicación como material de refuerzo en matrices poliméricas para la obtención de paneles de interés social y comercial» (2005-2007).

Durante el año 2012, los investigadores del LAMI ganaron doscientos millones de colones (¢ 200 000 000), gracias al concurso organizado por la Rectoría de la UNA para la compra de equipo de investigación por parte del Fondo Especial de Educación Superior (FEES), lo que permite al LAMI en ese momento adquirir equipo actualizado para la caracterización de materiales.

- Obtención de materiales poliméricos biodegradables con la utilización del árbol de mora (*Chlorophora tinctoria* (L.) *Gaudich* o *Maclura tintorea*) (2012-2013). Los resultados de la caracterización de los materiales compuestos obtenidos mostraron que las partes del árbol de *Maclura tinctoria* es un material que puede ser utilizado como compuesto en materiales poliméricos dada su morfología porosa y contribuye a la degradación del polietileno. Para no perjudicar las propiedades mecánicas del polietileno, se recomienda el uso de un porcentaje menor de 30 % del relleno.
- Fabricación y simulaciones de nuevos materiales para baterías recargables (2013-2014). Con este proyecto se lograron sintetizar y caracterizar varios materiales para almacenamiento de energía y se ensamblaron baterías recargables de litio del tipo CR2032 para su caracterización electroquímica. Esto último se realizó por primera vez en laboratorios de investigación del sistema de universidades afiliadas a CONARE.
- Terapia génica para el tratamiento de las enfermedades infecciosas (2013-2014). En este proyecto se trabajó en sinergia con la Escuela de Medicina Veterinaria de la UNA, la Facultad de Microbiología de la Universidad de Costa Rica (UCR), la Escuela de Biología del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC) y el Laboratorio Nacional de Nanotecnología (LANOTEC) del Centro Nacional de Alta Tecnología (CENAT). Se estudió el papel del sistema de dos componentes BvrR/BvrS en la expresión de genes de *Brucella abortus* implicados en virulencia. Este abordaje se realizó desde un punto de vista bioquímico y de la interacción de los componentes con oligómeros de ADN mediante microscopía de fuerza atómica.

Figura 4.
Imágenes de microscopía de fuerza atómica de genes de Brucella abortus.



Fuente: elaboración propia

- Generación de energías limpias más eficientes: Celdas solares de tercera generación basadas en nanoestructuras de carbono (2015-2016). Un proyecto coordinado por la Escuela de Química de la Universidad de Costa Rica (UCR), con la participación del LAMI, el Laboratorio Nacional de Nanotecnología (LANOTEC) y el Centro de Investigación en Electroquímica y Energía Química (CELEQ) de la UCR. Se logró desarrollar y sintetizar una serie de compuestos semiconductores orgánicos basados en nanoestructuras de carbono para ser aplicados en dispositivos fotovoltaicos avanzados, los cuales buscan sustituir a los fabricados a partir de silicio, material semiconductor inorgánico predominante en la industria fotovoltaica.
- Cerrando la brecha entre el diagnóstico convencional de enfermedades infecciosas y el diagnóstico de nueva generación (2015-2017). En este proyecto se continuó con la experiencia adquirida con la Escuela de Medicina Veterinaria de la UNA y se desarrolló en conjunto un dispositivo de confinamiento de bacterias mediante dielectroforesis en canales microfluídicos, con lo cual se convirtió en el primer trabajo en el campo de *Lab on the Chip* desarrollado en Costa Rica con técnicas de fabricación de bajo costo.

- Desarrollo de electrodos para la identificación de pesticidas y/o herbicida en medio acuoso (2015-2017). Este proyecto, liderado por el Dr. Ricardo Starbird del TEC, generó un nuevo grupo de trabajo interuniversitario en el cual se desarrollaron diferentes sensores basados en polímeros conductores dopados con nanotubos y nanopartículas anisotrópicas.

Es importante destacar, con base en las investigaciones anteriormente mencionadas, el compromiso que la Universidad ha adquirido con la nanotecnología y la nanobiotecnología para el desarrollo del país, gracias a la gestión de nuestra Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEN). De esta manera, los investigadores estamos llamados a contribuir y a generar nuevas alternativas que secunden la política institucional hacia la ciencia y la tecnología.

En el 2018, se crea un nuevo programa, paralelo al LAMI, llamado Programa de Investigaciones en Física Aplicada (IFA): Interacción Materia-Energía. Este nace por la necesidad de crear un espacio que permita agrupar, desarrollar y hacer crecer la investigación dentro del ámbito del estudio de los materiales enfocado en las interacciones materia-energía, con lo cual se abarquen así las aplicaciones sanitarias de las radiaciones, la investigación fundamental, la síntesis y caracterización de materiales y los usos responsables de la tecnología que involucren la propagación de la energía. Gracias a este esfuerzo, investigadores del programa han participado activamente en los siguientes proyectos de investigación:

- Desarrollo de matrices porosas extracelulares con propiedades eléctricas (MECC) para el estudio in vitro de tejido celular (2021-2022). Un proyecto ejecutado gracias al financiamiento del Ministerio de Ciencia, Innovación, Tecnología y Telecomunicaciones (MICITT).
- Microplásticos en organismos terrestres y marinos de consumo humano (2021-2022).
- Graphene based lab-on-chip sensors for the detection and characterization of bacterial pathogens (2019-2022). Un proyecto de investigación que se llevó a cabo gracias al financiamiento en conjunto del MICITT y del Instituto Max Planck de Alemania.

Con la conclusión de los programas LAMI e IFA en el año 2022, a partir 2023 se unen ambos programas, sus participantes y recursos, para iniciar el funcionamiento oficial de una nueva iniciativa que permita mayores sinergias, tanto a lo interno de la UNA, como con otras universidades, instituciones e industrias de Costa Rica y el mundo, para lograr un mayor alcance de la investigación, desarrollo e innovación (I+D+i), que se lleva a cabo en el área de Ciencia e Ingeniería de Materiales del Departamento de Física. Esta iniciativa lleva por nombre Laboratorio y Espacio Maker en Física Aplicada (LabFA).

Educación

Una nueva carrera en Ingeniería en Bioprocesos Industriales, recién creada, necesita fuertemente el apoyo y la contribución del punto de vista de la Física y la Física Química. Para fortalecer este compromiso, el Departamento de Física contribuye fuertemente con el quehacer científico de toda la comunidad estudiantil de la Universidad Nacional, y en especial de la FCEN, para que puedan adquirir nuevas destrezas y conocimiento que les permitan responder a las necesidades de la industria nacional e internacional. Para esto se logró la participación de estudiantes en distintos proyectos del LAMI como: materiales poliméricos reforzados con fibras naturales, nuevos materiales para baterías recargables de litio, entre otros.

El desarrollo de nuevos materiales es un aspecto importante dentro del avance tecnológico del país. Cada nueva generación de materiales reemplaza a una anterior, al ofrecer mejores características y costos competitivos. El LAMI desarrolla los proyectos que involucran el diseño y producción de materiales compuestos, así como el estudio de sus propiedades físico-químicas por medio de implementación de las técnicas novedosas, tales como imágenes con el Microscopio de Efecto Túnel (STM, por sus siglas en inglés) y el Microscopio de Fuerza Atómica (AFM, por sus siglas en inglés), para establecer las relaciones estructurales entre los compuestos, así como los análisis de propiedades establecidas por normas ASTM (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales).

Por medio de los proyectos de investigación realizados, se dio el intercambio de experiencias con académicos y estudiantes de diferentes organizaciones nacionales e internacionales

interesados en líneas similares o complementarias a las desarrolladas en el laboratorio. Los investigadores participaron en congresos, redes nacionales e internacionales, obtuvieron membrecías en organismos internacionales, realizaron pasantías en diferentes instituciones internacionales, entre otros.

Los investigadores del laboratorio han realizado investigaciones y publicaciones conjuntas sobre los resultados obtenidos con varias instituciones internacionales, tales como la Universidad Nacional Autónoma de México, Department of Physics and Astronomy University of Texas at Brownsville, Universidad de Oporto, Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua, Facultad de Ciencias de la Universidad de Granada, Universidad de Oviedo, Academia de Ciencias de Rusia, Comisión Nacional de Energía Atómica de Argentina, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Ambiente de Cuba, Universidad de Alicante y más.

El Laboratorio de Materiales Industriales participó en la creación del Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y el Caribe (HIDROCEC), así como de la carrera de Ingeniería Hidrológica en el campus Liberia. Ha brindado servicios, tanto a la investigación, industria nacional como a la comunidad estudiantil y a profesionales del país. Durante este periodo, el LAMI se posicionó en el campo de materiales y nanomateriales, así como en el de las tecnologías de tratamiento de aguas.

La política de calidad del LAMI fue garantizar las buenas prácticas profesionales, la calidad de sus productos y servicios como Laboratorio, y a su vez procurar la capacitación permanente del personal involucrado, en consecuencia, logró que las personas relacionadas conozcan la documentación de la calidad e implementen las políticas y los procedimientos en su trabajo con lo cual se garantice la confidencialidad de la información que se genera.

Se llevó a cabo el proyecto para obtener la certificación del LAMI para asegurar que el laboratorio cumpla las disposiciones establecidas en la norma internacional INTE-ISO/IEC 17025:2005, así como se obtuvo el permiso sanitario de funcionamiento N.º 1692-2016, emitido por el Ministerio de Salud de Costa Rica.

Cabe destacar que desde el Laboratorio de Materiales Industriales se han organizado, o colaborado en la organización, de una serie de cursos, seminarios o talleres que han permitido la capacitación de múltiples personas en temas relacionados con la Ciencia e Ingeniería de Materiales.

Un aspecto importante que resaltar ha sido el acercamiento que la población estudiantil ha tenido con gran parte de los proyectos realizados en el área de Materiales, a través de la colaboración como asistentes en muchas de las propuestas de investigación formuladas por los académicos responsables, lo que ha permitido que, a lo largo de los años, se haya podido contar con la participación de más de 100 estudiantes.

Vinculación Externa

Trabajando con los agricultores surge la necesidad de elaborar la reglamentación para los desechos plásticos y tratamiento de aguas residuales, por lo que, en su momento, la coordinadora del LAMI, la Ing. Svetlana Nikolaeva, participó activamente:

Como consultora para la Cooperación Técnica Alemana (GTZ) y el Ministerio de Salud en la elaboración de la propuesta del Reglamento Recuperación, Reciclaje y Reúso de desechos plásticos (1995).

- Como consultora para la GTZ para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales y obtención de nuevos componentes ecológicamente limpios a partir de desechos de la producción bananera (1996-1997).
- Como consultora para la GTZ para las alternativas de tratamiento de aguas residuales porcinas, en la cual se realizó la construcción de una planta de tratamiento con utilización de zeolitas (1997-1999).
- En el proyecto «Desarrollo de modelos industriales de filtros de zeolita para el tratamiento de aguas residuales» (2003-2005) con la empresa ECOTANK, donde se construyeron varios módulos.
- En el proyecto IBEROEKA (2005), en colaboración con grupos de investigación de varios países, en la parte MODULAGUA, donde realizaron el «Diseño y evaluación de las propiedades del modelo de un biodigestor anaerobio con utilización de materiales poliméricos reciclados», el cual contó con financiamiento de FORINVES. Entre sus resultados se puede destacar la valorización de los residuos generados en la actividad de un matadero, con el fin de conseguir el

autoabastecimiento energético de la planta de procesamiento de carne.

- En el proyecto «Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales mediante acciones de desarrollo sostenible. Acción Centroamérica y el Caribe». Este contó con el financiamiento de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID).

La coordinadora del LAMI colaboró con la formación del HI-DROCEC en la ciudad de Liberia, y realizó varias investigaciones y eventos con la comunidad (Figura 3), así como participó en la Red Gestión del Recurso Hídrico (REGRHI-UNA), entre el 2013 y 2014.

Dada la problemática de la situación hídrica en el Distrito de Liberia, Guanacaste, se llevó a cabo el proyecto, «Estudio de situación del recurso hídrico en el Distrito de Liberia para elaborar una propuesta de plan de desarrollo sostenible ante el cambio climático» (2016-2017). Al finalizar el proyecto, se publicó el folleto, «Distrito Liberia. Situación hídrica ante el cambio climático y el desarrollo sostenible», y además se realizaron varios eventos para divulgar los resultados del proyecto a la comunidad.

Figura 5.

*Foro «Gobernabilidad del Recurso Hídrico en Costa Rica»
(16 de mayo 2013) en el Campus Liberia de la Sede Regional
Chorotege, de la Universidad Nacional, Costa Rica.*



Fuente: imagen propia

Desde el inicio del LAMI, y el desarrollo de la investigación en el área de materiales, los investigadores han podido participar en más de 50 eventos nacionales e internacionales, donde han tenido la oportunidad de compartir con la comunidad científica y académica los resultados de las investigaciones realizadas; así como también se han realizado publicaciones en revistas nacionales e internacionales, gracias al apoyo de la Universidad Nacional (Anexo 1).

Como resultado de un trabajo realizado con la colaboración del LAMI, en el 2015 publican el libro *Tratamiento de residuales: Fundamentos y Aplicaciones para Latinoamérica*, a través de EUNA.

El campo de la nanotecnología es un campo reciente que puede ofrecer soluciones en campos multisectoriales, multidisciplinarios y tiene importantes implicaciones en el desarrollo de la Ciencia y Tecnología, razón por la cual, el LAMI, al estar involucrado en el desarrollo de esta área, establece contactos con el Departamento de Física de la Universidad de Texas para capacitar al personal en este campo.

Desde el 2005 se ha participado y colaborado con el Simposio en Ciencia de Materiales Avanzados y Nanotecnología (SCIMAN), de la Escuela de Física de la UCR, donde se proporciona a la comunidad científica y de ingeniería local y regional un lugar para compartir los resultados obtenidos de la actividad de investigación en ciencia e ingeniería de materiales y nanotecnología. Este es un espacio donde la mayoría de las presentaciones están realizadas por científicos, ingenieros y estudiantes que pertenecen a universidades, institutos y laboratorios de investigación locales e internacionales. Los temas que generalmente se abarcan en este tipo de eventos son, entre otros, materia condensada blanda, biomateriales, compuestos, semiconductores nanoestructurados, polímeros y grafeno.

En el 2007, en conjunto con la Universidad de Alicante (España), se participa en la convocatoria de las «Ayudas de cooperación interuniversitaria e investigación científica entre España e Iberoamérica» con el proyecto titulado «Formación de profesores costarricenses en Nanotecnología», el cual consistió en el intercambio de docentes de ambas universidades para la capacitación en temas de nanotecnología y afines. Producto de esto, en el 2008 se realiza el curso Nanotecnología y Nanomateriales en Costa Rica, con el objetivo de formar a profesores que puedan

desarrollar una actividad investigadora, o una actividad profesional en este campo.

Entre los años 2013 y 2014 se participa en la consolidación de la Red de Nanobiotecnología de la Universidad Nacional, denominada Red Nano-UNA, cuyo principal objetivo es generar un espacio para la interacción entre diferentes unidades académicas de la UNA en temas de nanobiotecnología. En esta Red participaron el Dr. Giovanni Sáenz Arce y el Dr. José J. Saavedra Arias, investigadores del área de materiales.

En colaboración con el Dr. Pablo Pernas y el Dr. José Luis Plaza, de la Universidad Autónoma de Madrid, se presentaron cuatro proyectos CEAL-Banco Santander con el fin de realizar intercambio de personal académico e investigador enfocado al desarrollo de materiales optoelectrónicos con aplicaciones en sensores y celdas solares. En este intercambio, participaron el Dr. José J. Saavedra Arias, el Dr. Giovanni Sáenz Arce, y el M.Sc. Christian Chaverri Ramos.

Varios integrantes del área de materiales, luego de finalizar sus estudios doctorales y de maestría en el extranjero y regresar al país, desarrollaron iniciativas que permitieron la formación de nuevos campos de investigación en el Departamento de Física, tales como: física médica, energías renovables y almacenamiento energético. Algunas de estas iniciativas se concretaron en los siguientes proyectos:

1. Plan de Mejoramiento Institucional: Fortalecimiento de la formación, la investigación y la innovación en aplicaciones de Física Médica (2013-2017).
2. Terapia génica para el tratamiento de las enfermedades infecciosas (2013-2014). Proyecto financiado por el fondo FEES.
3. Fabricación y simulaciones de nuevos materiales para baterías recargables (2013-2014). Proyecto financiado por el fondo FEES.
4. Consolidación de la Red de Nanobiotecnología de la Universidad Nacional denominada Red Nano-UNA (2013-2014). Proyecto financiado por el fondo FEES.
5. Cerrando la brecha entre el diagnóstico convencional de enfermedades infecciosas y el diagnóstico de nueva generación (2015-2107). Proyecto financiado por el fondo FEES.

6. Desarrollo de electrodos para la identificación de pesticidas y/o herbicida en medio acuoso (2015-2017). Proyecto financiado por el fondo FEES.
7. Generación de energías limpias más eficientes: Celdas solares de tercera generación basadas en nanoestructuras de carbono (2015-2016). Proyecto financiado por el fondo FEES.
8. Dispositivos fotovoltaicos de nueva generación super eficientes: diseño y fabricación (2015-2016). Proyecto CEAL financiado por el Banco de Santander, España.

Desde los inicios del desarrollo del área de materiales en el Departamento de Física, junto con la creación del Laboratorio de Materiales Industriales, las iniciativas y proyectos ejecutados por el grupo de investigadores han contribuido con la formación de nuevas líneas de investigación en la Universidad Nacional, así como con la divulgación de los resultados generados por estas, que han fomentado un aumento en el conocimiento adquirido por la población estudiantil y un acercamiento a la industria, lo cual ha llevado a la implementación de nuevas y diversas soluciones a desafíos de interés nacional e internacional.

Anexo 1: Publicaciones del LAMI



1. Nikolaeva, S. Manejo adecuado de los desechos sólidos en industrias. Capítulo 6. UNED, San José, 1997.
2. Córdova, H., Islas, M., Bascuñan, S., Martines, G., & Nikolaeva, S. Obtención de soportes de macro y micro nutrientes con base en zeolitas mexicanas. *Revista Tecnología en Marcha*, 14(1), pp. 37-44. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/2390
3. Nikolaeva, S., Sánchez, E., Borja, R., Travieso, L., Weiland, P., & Milán, Z. (2002). Treatment of piggery waste by anaerobic fixed bed reactor and zeolite bed filter in a tropical climate: a pilot scale study. *Process Biochemistry*, 38(3), 405-409. [https://doi.org/10.1016/s0032-9592\(02\)00139-5](https://doi.org/10.1016/s0032-9592(02)00139-5)
4. Nikolaeva, S., Rúa, F., & Mederos, B. (2002). Planta de tratamiento de aguas porcinas con el uso de la biodigestión

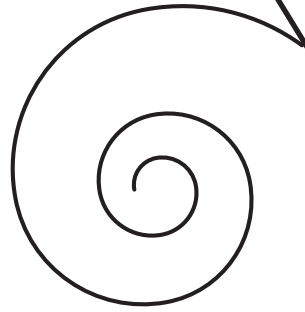
- anaeróbica y filtración con zeolita tipo clinoptilolita. *Revista del Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica*, edición 20, año 45, p. 31.
5. Nikolaeva, S., Delgado, C., Mederos, B. (2005). Diseño y fabricación de un sistema modular compacto de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales de fácil manejo. *Revista CIEMI*, N.º 53, p. 11.
 6. Vega-Baudrit, J., Alvarado-Aguilar, P., Sibaja-Ballesteros, R., Portugués, M., & Nikolaeva, S. Obtención y caracterización de disoluciones en polietilenglicol (peg) a partir de residuos de olote de la agroindustria del maíz. Síntesis de polímeros potencialmente biodegradables. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. Volumen 6(3), octubre de 2005. <https://reviberpol.files.wordpress.com/2019/08/2005-vega.pdf>
 7. Nikolaeva, S. (2005, abril). Física de los polímeros. Campus, 17. http://www.campus.una.ac.cr/ediciones/2005/abril/2005abril_pag17a.html
 8. Sánchez Hernández, E., Nikolaeva, S., & Travieso Córdoba, L. (2015). Tratamiento de residuales: fundamentos y aplicaciones para Latinoamérica (1ª. ed., p. 415). EUNA. <https://www.euna.una.ac.cr/index.php/EUNA/catalog/book/28>
 9. Sánchez, E., Borja, R., Travieso, L., Martín, A., Colmenarejo, M. F., & Nikolaeva, S. (2006). An Evaluation of Variables Affecting the Stability and Performance of Down-Flow Anaerobic Fixed Bed Reactors Treating Piggery Wastewater. *Environmental Technology*, 27(1), 85-93. <https://doi.org/10.1080/09593332708618617>
 10. Sánchez, E., Travieso, L., Borja, R., Colmenarejo, M. F., Nikolaeva, S., Raposo, F., & Rincón, B. (2007). Piggery waste treatment by using down-flow anaerobic fixed bed reactors. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 42(6), 727-734. <https://doi.org/10.1080/03601230701465999>
 11. Umaña, O., Nikolaeva, S., & Sánchez, E. (2007) Comportamiento de dos reactores anaerobios de lecho fijo (RALF) durante la fase de aclimatación en residuales de lechería. *Revista Residuos*, N.º 95, 84-89. España.
 12. Umaña, O., Nikolaeva, S., Sánchez, E., Borja, R., & Raposo, F. (2008). Treatment of screened dairy manure by upflow anaerobic fixed bed reactors packed with waste tyre rubber and a combination of waste tyre rubber and zeolite: Effect of the hydraulic retention time. *Bioresource Technology*, 99(15), 7412-7417. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.01.009>

13. Argüello-Miranda, O., & Sáenz-Arce, G. (2008). Interchromatid central ridge and transversal symmetry in early metaphasic human chromosome one. *Journal of Molecular Recognition*, 21(3), 184-189. <https://doi.org/10.1002/jmr.884>
14. Nikolaeva, S., Sánchez, E., Borja, R., Raposo, F., Colmenarejo, M. F., Montalvo, S., & Jiménez-Rodríguez, A. M. (2009). Kinetics of anaerobic degradation of screened dairy manure by upflow fixed bed digesters: Effect of natural zeolite addition. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 44(2), 146-154. <https://doi.org/10.1080/10934520802539715>
15. Pantyukhov, P. V., Monakhova, T. V., Kolesnikova, N. N., Popov, A. A., & Nikolaeva, S. G. (2011). The Destruction Of Composite Materials Based On Peld And Lignocellulosic Fillers. *Polymers Research Journal*, 5(4), 469-477. <https://www.proquest.com/scholarly-journals/destruction-composite-materials-based-on-peld/docview/1701529019/se-2>
16. Pantyukhov, P., Monakhova, T., Kolesnikova, N., Popov, A., & Nikolaeva, S. (2012). The Oxidative and Biological Destruction of Composite Materials Based on Low-Density Polyethylene and Lignocellulosic Fillers. *Chemistry & Chemical Technology*, 6(3), 349354. <https://doi.org/10.23939/chcht06.03.349>
17. Vega-Baudrit, J., Sibaja B., M., Nikolaeva S., S., & Rivera A., A. (2014). Síntesis y caracterización de celulosa amorfa a partir de triacetato de celulosa. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 80(1), 45-50. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v80i1.211>
18. Podzorova, M. V., Tertyshnaya, Yu. V., Pantyukhov, P. V., Shybryaeva, L. S., Popov, A. A., & Nikolaeva, S. (2016). Influence of different factors on the destruction of films based on polylactic acid and oxidized polyethylene. AIP Conference Proceedings. <https://doi.org/10.1063/1.4966479>
19. Zykova, A. K., Pantyukhov, P. V., Monakhova, T. V., Kolesnikova, N. N., Popov, A. A., & Ramos, C. C. (2016). Factors influencing the biodegradability of biocomposites based on ethylene-octene copolymer (EOC) and vegetable fillers. AIP Conference Proceedings. <https://doi.org/10.1063/1.4966533>
20. Nikolaeva, S., Moraga, G., Saravia, A. Y., & Herrera, J. P. (2018). Distrito Liberia: situación hídrica ante el cambio

climático y el desarrollo sostenible (p. 77). CEMEDE, Universidad Nacional.

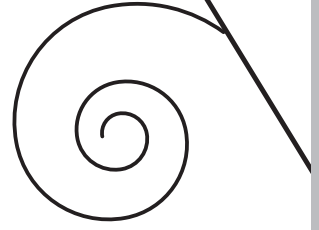
21. Paniagua-Vásquez, I., Zuluaga-Gómez, C. C., Chacón-Vargas, S., Calvo, A. L., Sáenz-Arce, G., Katiyar, R. S., & Saavedra-Arias, J. J. (2022). High Specific Capacity of Lithium-Sulfur Batteries with Carbon Black/Chitosan-and Carbon Black/Polyvinylidene Fluoride-Coated Separators. *Energies*, 15(6), 2183. <https://doi.org/10.3390/en15062183>
22. Soto-Cruz, J., Conejo-Valverde, P., Sáenz-Arce, G., Dou, H., & Rojas-Carrillo, O. (2021). Biofabrication of Gold Nanotriangles Using Liposomes as a Dual Functional Reductant and Stabilizer. *Langmuir*, 37(11), 3446-3455. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.1c00104>
23. Mora-Castro, R., Hernández-Jiménez, M., Sáenz-Arce, G., Porras-Peñaranda, J., Hanson-Snortum, P., & Avendaño-Soto, E. (2020). Connecting biology, optics and nanomechanical properties in micro-wasps. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58301-2>
24. Ramírez-Sánchez, K., Alvarado-Hidalgo, F., Zamora-Sequeira, R., Sáenz-Arce, G., Rojas-Carrillo, O., Avendaño-Soto, E., Ruedert, C., Mena-Torres, F., & Starbird-Pérez, R. (2019). Biosensor based on the directly enzyme immobilization into a gold nanotriangles/conductive polymer biocompatible coat for electrochemical detection of Chlorpyrifos in water. *Medical Devices & Sensors*, 2(5-6). <https://doi.org/10.1002/mds3.10047>
25. Martínez-Brenes, A., Torres-Castro, K., Marín-Benavides, R., Acuña-Umaña, K., Espinoza-Araya, C., Ramírez-Carranza, R., González-Espinoza, G., Rojas-Campos, N., Guzmán-Verrí, C., Sáenz-Arce, G., & Lesser-Rojas, L. (2019). Combined electrokinetic manipulations of pathogenic bacterial samples in low-cost fabricated dielectrophoretic devices. *AIP Advances*, 9(11), 115303. <https://doi.org/10.1063/1.5049148>
26. Zamora-Sequeira, R., Alvarado-Hidalgo, F., Robles-Chaves, D., Sáenz-Arce, G., Avendaño-Soto, E. D., Sánchez-Kopper, A., & Starbird-Pérez, R. (2019). Electrochemical Characterization of Mancozeb Degradation for Wastewater Treatment Using a Sensor Based on Poly (3,4-ethylenedioxythiophene) (PEDOT) Modified with Carbon Nanotubes and Gold Nanoparticles. *Polymers*, 11(9), 1449. <https://doi.org/10.3390/polym11091449>

27. Delgado-Jiménez, L., Chacón-Vargas, S., Sabater-Piqueres, C., & Sáenz-Arce, G. (2019). Medidas topográficas en superficies atómicamente planas en condiciones ambiente mediante un microscopio de efecto túnel, un enfoque didáctico. *Uniciencia*, 33(1), 30. <https://doi.org/10.15359/ru.33-1.3>
28. Rubio-Verdú, C., Sáenz-Arce, G., Martínez-Asencio, J., Milan, D. C., Moaied, M., Palacios, J. J., Caturla, M. J., & Untiedt, C. (2017). Graphene flakes obtained by local electro-exfoliation of graphite with a STM tip. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 19(11), 8061-8068. <https://doi.org/10.1039/c6cp07236d>
29. Clark, N., Vargas, W. E., Azofeifa, D. E., Sáenz-Arce, G., Solís, H., & Ramírez-Hidalgo, G. (2014). Polycrystalline indium films in the percolation threshold regime: time correlation between electric conduction and optical properties with film morphology. *Materials Research Express*, 1(1), 016302. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/1/1/016302>
30. Zykova, A. K., Pantyukhov, P. V., Platov, Yu. T., Bobojonova, G. A., Ramos, C. C., & Popov, A. A. (2017). Water absorption and biodegradation kinetics of highly filled EOC-FS biocomposites. AIP Conference Proceedings. <https://doi.org/10.1063/1.5013921>
31. Zykova, A., Pantyukhov, P., Morokov, E., Ramos, C. C., Nikolaeva, S., & Popov, A. (2018). Influence of different climate conditions on biodegradation kinetics of biocomposites based on low-density polyethylene and vegetable fillers. AIP Conference Proceedings. <https://doi.org/10.1063/1.5045881>
32. Zykova, A. K., Pantyukhov, P. V., Mastalygina, E. E., Chaverri-Ramos, C., Nikolaeva, S. G., Saavedra-Arias, J. J., Popov, A. A., Wortman, S. E., & Poletto, M. (2021). Biocomposites of Low-Density Polyethylene Plus Wood Flour or Flax Straw: Biodegradation Kinetics across Three Environments. *Polymers*, 13(13), 2138. <https://doi.org/10.3390/polym13132138>



II PARTE

Salud pública

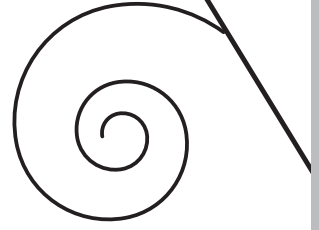


Capítulo I

Aportes en biotecnología y medicina regenerativa traslacional del hospital de equinos y especies mayores de la Escuela de Medicina veterinaria de la Universidad Nacional

Juan Manuel Estrada Umaña¹,
Roberto Estrada McDermott²
y Rafael Vindas Bolaños³

-
- 1 Profesor catedrático de la Escuela de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional, Costa Rica. Médico veterinario graduado en la Universidad Nacional de Costa Rica. Magíster in Scientia, University of Wales del Reino Unido. Entrenamiento práctico en cirugía equina, Universidad de Cambridge, auspiciado por el gobierno británico.
 - 2 Profesor II de la Escuela de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional. Médico veterinario graduado en la Universidad Nacional de Costa Rica. Doctorado en Ortopedia Equina y Terapias Regenerativas de la Universidad de Berlín de Alemania. Posdoctorado en Ortopedia de Equino de la Universidad de Berlín de Alemania. Especialista certificado en Cirugía y Ortopedia Equina del Colegio Europeo de Cirujanos Veterinarios.
 - 3 Profesor Catedrático de la Escuela de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional de Costa Rica. Médico veterinario, graduado en la Universidad Nacional, Costa Rica. Especialidad profesional en Cirugía, Medicina y Reproducción de Equinos, UNA, Costa Rica. Ph.D. en Medicina Regenerativa de Cartílago y Hueso en Equinos, Universidad de Utrecht, Holanda.



Dos décadas de Medicina Regenerativa en Costa Rica y su relación con la Escuela de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional

Manuel Estrada Umaña

Introducción

Este artículo, más periodístico e histórico que científico, es un recuento cronológico de hechos que relacionan a la UNA con la Medicina Regenerativa (MR) en Costa Rica. Posiblemente, durante el periodo aquí descrito sucedieron más cosas que escaparon al conocimiento de este autor, el cual pide disculpas por cualquier omisión de nombres o hechos. Varios eventos pueden ser considerados puntos de inflexión para el desarrollo de esta disciplina en la UNA: (1) - Inicio (2006), de Remodelación, Equipamiento y Entrenamiento de Personal del Hospital Equino (HE), lo cual ofrece espacio para trabajo experimental en MR, (2) - Proyecto de graduación EMV/UNA de Roberto Estrada (2007) que definió los primeros protocolos en CR para aislar, identificar e implantar MSC, (3) - La

asistencia de Manuel Estrada al “Congreso Mundial de Medicina Regenerativa”, Leipzig (2008), permitió formar una red global de contactos científicos, que facilitó luego realizar simposio mundial en CR (2017), (4) - Postgrado de Roberto Estrada en la U. Libre de Berlín (2008-2012) que generó importantes grados, publicaciones y contactos, (5) - Visita a EMV/UNA de íconos mundiales en el tema, como los profesores N. Jessel (INSERN, Fr), Wan-Ju Li (U. Wisconsin), R. van Weeren, J. Malda y H. van Schie (U. Utrecht), C. Lischer (U Libre Berlin), J. A. Auer (U. Zurich), J.P. Watkins (U. Texas), A. Mata (U. Londres), R.K.W. Smith (U. Londres), M. Stewart (U Illinois) y M.W. Ross (U. Penn) entre otros, (6) - Trabajos iniciales sobre andamios tisulares, efectuados la década pasada en la Escuela de Química UNA, por Dres. José R. Vega y Sergio Madrigal, (7) Realización en C.R. del “Simposio de Medicina Regenerativa & Nanotecnología” dentro del “35 Congreso de la Asociación Veterinaria Mundial” - UNA como Coorganizadora, (8) - Postgrado de Rafael Vindas en la U. Utrecht (2012-2019), lo cual generó doctorado, publicaciones y valiosos contactos. **Definiciones:** “Reparación tisular” implica que el organismo repara sus lesiones por cicatrización o regeneración, pero la cicatriz obtenida en el primer caso no es un tejido funcional. La “regeneración” es “reparación casi óptima que produce tejido bastante similar en estructura y función al original lesionado”. “Medicina Regenerativa” (M.R.) es una “rama de la Medicina que inició alrededor de 2005 con terapias que regeneran o reemplazan células y tejidos lesionados usando Células Madre (MSC), Factores de Crecimiento (FC) y Andamios Tisulares (AT), para tratar de restaurar estructura y función lesionadas” (Sampogna *et al.* 2015). La Medicina Regenerativa es útil en la terapia de tejidos con capacidad de regeneración baja y en algunas patologías inmunomediadas. Las MSC están en varios tejidos corporales, pero es más fácil aislarlas de grasa del paciente, lo cual origina tipos celulares diferentes que regeneran tejidos dañados (Atala *et al.* 2010). Otras células a considerar son los macrófagos polarizados antiinflamatorios tipo M2 (Estrada, J. *et al.* 2021). El plasma rico en plaquetas (PRP) se obtiene de sangre periférica y libera Factores de Crecimiento (FC) que atraen MSC hasta el sitio de la implantación (Atala *et al.* 2010), lo cual forma un andamio de fibrina que inicia la reparación tisular. “Andamios Tisulares Artificiales” son nanoestructuras poliméricas 3D que favorecen proliferación y diferenciación celular al ofrecer un soporte físico que

guía la formación de nuevo tejido (Eap *et al.* 2015). Algunos hallazgos descritos en M.R. determinan “automodulación inmune” (Estrada *et al.* 2021) y otros son “bioingeniería” pura (Stoltz *et al.* 2017). “Ortobiológicos” son la combinación de Ortopedia + Biológicos (Centeno *et al.* 2020). “Medicina Translacional” (M.T.), es una rama biomédica interdisciplinaria que “extrapola resultados de investigación básica en tecnología aplicable a la práctica médica diaria permitiendo a la ciencia alcanzar al paciente” (Estrada M, 2019) y la combinación de todo con nanotecnología, origina la “Nanomedicina Regenerativa”.

Historia de la M.R. en Costa Rica y el rol de la UNA

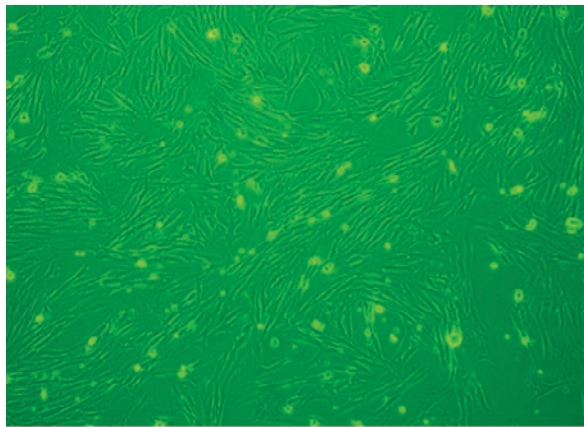
El interés de este autor (M. Estrada) en M. R. comenzó durante su postgrado en el Reino Unido (80) cuando colaboró en la University of Wales (Cardiff) con la aplicación de “implantes de fibra de carbón inactivado” en reparación de tendones equinos, interés que aumentó luego (1994) al conocer sobre técnicas de “ortobiología” en conferencia de la “AESM”, California, cuando D. Herthel reportó el “uso de inyecciones de médula ósea autóloga en lesiones de ligamento suspensorio equino”. El HNNCR efectúa el primer trasplante de médula ósea (1985) y se inaugura (2004) el primer banco de cordón umbilical (Provida S.A). Desde inicio del siglo, los Dres. Javier Castro Figuls y Arturo Quirós Umaña (HSJD), usaron exitosamente médula ósea como coadyuvante terapéutico en fracturas de tibia. El Dr. Olman Segura, rector de la UNA (2005-2010), apoyó remodelación y compra de equipo inicial para el HE incluyendo la “Unidad de Terapia Celular y Medicina Regenerativa”. El Lic. J. D. Álvarez, Centro Ecuestre del Sol, dona (2007) una mesa de cirugía y termina la remodelación del quirófano. La pasantía de Roberto Estrada (2005) al Hospital Equino Rood & Riddle, Ky, le permite observar la aplicación de MSC en lesiones tendinosas y usa el tema para su proyecto de graduación en la UNA. Roberto recibió apoyo de varios profesionales de la UCR (Pilar Salas, Francisco Vega, Víctor Castillo y Maggie Ramírez), de CCSS (Berta Valverde, Patricia Venegas, Silvia Santamaría, Alfonso Carranza, Vicky Monterroso y Constantino Liano) y Alexis Berrocal (EMV/UNA). Bruno Lomonte y Ricardo

Estrada (ICP/UCR) apoyaron con materiales y animales de laboratorio para distintas pruebas. Javier Montero colaboró en práctica privada con casos clínicos y aplicación de esta terapia en pacientes equinos. Paralelamente se formó el "Grupo Interdisciplinario en MR" con personal de la CCSS, UCR y UNA para el estudio de temas relacionados (doctores Castro, Quirós, Venegas, Monterroso, Roberto Estrada y Manuel Estrada, entre otros). Este grupo colaboró con la Asamblea Legislativa en la "Ley Especial para regular la obtención, procesamiento y almacenamiento de Células Madre Adultas Humanas provenientes de sangre de cordón umbilical y otros tejidos" (Expediente 17398, publicado 09/10/09).

El trabajo práctico del proyecto de graduación de Roberto Estrada (2007) se hizo en el HE/EMV y su tesis se tituló: "Establecimiento e implementación de un protocolo de extracción, aislamiento, cultivo y reimplantación de células madre mesenquimales para el tratamiento de tendinitis y desmitis en equinos" (<https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/12904/>), donde se definieron los protocolos respectivos para aislar las MSC (ver Fig. 1).

Figura 1

Colonias de ADMSC tipo fibroblasto similares morfológicamente a las reportadas por múltiples investigadores en la literatura y cultivadas en el Hospital Equino EMV/UNA



Fuente: Estrada, R., Salas P., Vega F., Estrada M., Venegas P. (2007)

Esto generó las publicaciones: Estrada, R., Salas P., Vega F., Estrada M., Venegas P. (2007) "Utilización de las células madre mesenquimales de origen adiposo en el tratamiento de la tendinitis y desmitis en equinos: Resultados de la aplicación de un protocolo de extracción, cultivo y reimplantación" (Cienc. Vet. 25, 271-278) y Estrada, R., Ramírez M., Estrada J., Estrada M. (2007). "Implantación de células madre alogénicas de origen adiposo para el tratamiento de la habronemiasis cutánea" (Cienc. Vet. 25, 271-278). Roberto Estrada inicia (2008) su postgrado en la U Libre de Berlín con beca UNA/DAAD, efectúa parte del trabajo experimental en la EMV/UNA, lo que generó dos publicaciones (citadas adelante), una de las cuales ganó premio al "Mejor artículo del año" en la revista alemana *Medicina Equina* y sus otros logros se mencionan luego. Manuel Estrada (oct 2008) viaja al "Congreso Mundial de Medicina Regenerativa", Leipzig, donde organiza importante red de contactos y genera visita a varias instituciones pioneras en M.R. (U. de Leipzig, Dresden y Utrecht). Estos contactos sirvieron además para efectuar en CR un simposio mundial (2017). Doña Sandra León, rectora de UNA, inauguró en el Hospital Equino (2011), la "I Fase de la Unidad de Terapia Celular" con la meta de investigar, definir y mejorar protocolos para la colección, aislamiento, expansión, identificación, bioseguridad, criopreservación y reimplantación en el paciente de MSC o derivados plaquetarios. El "Cuarto de Aislamiento para MSC" se hizo por donación de don Gerardo Chavarría. El proyecto "Terapia Celular en Medicina Regenerativa" (Código SIA 0396-11) operó entre 01/01/13 y 31/12/15, coordinado por M. Estrada. A finales del 2015, Juan Estrada, en ese momento funcionario de la EMV/UNA, inicia gestión con apoyo de los Vicerrectores de Investigación Daniel Rueda (UNA) y Francisco Romero (UTN) para aplicar por beca Fulbright y efectuar Maestría en Ciencias Clínicas, con énfasis en M.R., en Colorado State University, lo cual genera el grado respectivo y el artículo: Estrada J., L. Pezzanite, L. Goodrich *et al.* (2021). "Role of Innate Immunity in Initiation and Progression of Osteoarthritis, with Emphasis on Horses" (Animals 11(11), 3247). Rafael Vindas termina doctorado en la U. Utrecht (2019) y sus importantes publicaciones científicas serán mencionadas adelante. El trabajo práctico experimental *in vivo* para los doctorados de Rafael y Roberto fue efectuado en el Hospital Equino, EMV/UNA. Don Daniel Rueda respaldó el "I Simposio de Medicina Regenerativa

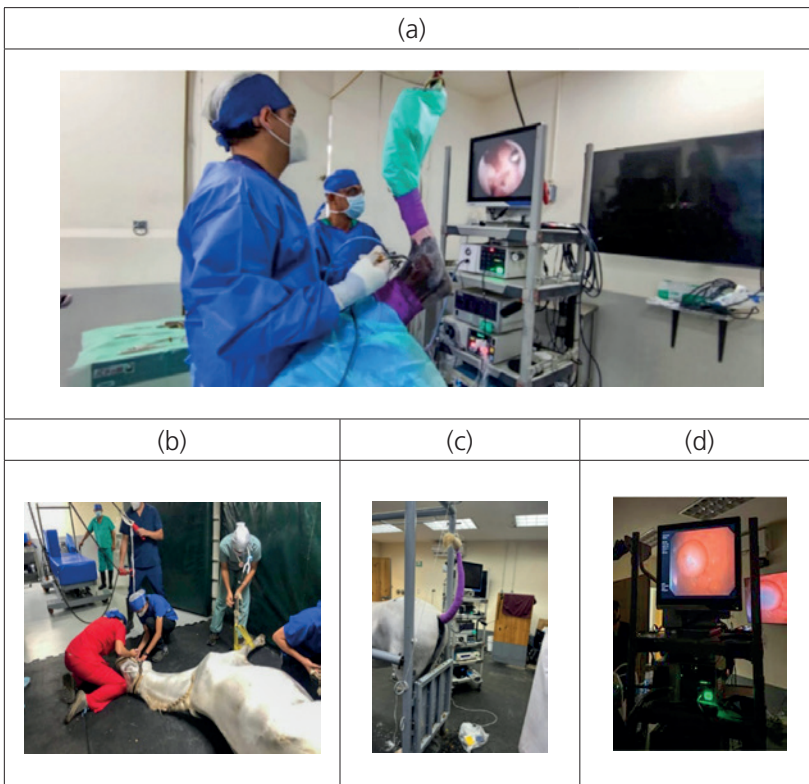
& Nanotecnología”, celebrado el 27/abril/17 en CR como parte del “35 Congreso de la Asociación Veterinaria Mundial”, con la UNA como coorganizadora y el Comité Científico incluyó grupo selecto de funcionarios (L. Muñoz, R. Vega, R. Vindas, D. Rueda, S. Argüello, D. Zeledón y M. Estrada como coordinador). Don Alberto Salom, rector de la UNA, ofreció discurso inaugural. La visita de varios ponentes internacionales fue financiada parcialmente por la UNA y originó una publicación virtual (<https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/veterinaria/issue/view/1200>) y otra impresa, Estrada M. Editor. (2019) Supplement: “Abstracts from the I Symposium on Regenerative Medicine and Nanotechnology” (Cienc. Vet. 37, 1-5). El rector don Francisco González (2020-2025) y su vicerrector de Investigación Dr. Jorge Herrera han apoyado generosamente los proyectos innovadores amparados por esta Cátedra y permitió comprar más equipo con tecnología de punta (Ejs. Impresora de 3D y un Arco en C para fluoroscopia), que pronto producirá más investigación, aparte de cumplir un importante rol en docencia. Los directores de la EMV siempre nos brindaron su apoyo en todo este proceso, particularmente los Dres. Carlos Jiménez, Laura Castro, Enrique Capella y Julia Rodríguez, además de los Consejos Académicos respectivos. Con el soporte de estas altas autoridades estamos iniciando (junio, 2022), junto con PRODEMI, un proyecto de construcción del nuevo Hospital Equino, por lo que el respaldo de la UNA ha sido fundamental para el avance de la M. R. en Costa Rica.

Otra producción intelectual relacionada con M.R. en la UNA: incluye 1) Ley Expediente 17398, 2) Artículo: Estrada, M. (2011) “Hospital Equino y Medicina Regenerativa en la Universidad Nacional”, Revista Universidad Técnica Nacional, Inf. 58, 65-69, 3) Ponencia: M. Estrada. “Terapia Celular en Medicina Regenerativa”, VII Jornadas Académicas UNA, 03/10/12, CINPE, 4) Ponencia: M. Estrada. “Terapia Celular en Medicina Regenerativa”, Jornadas de Investigación Proyectos Interuniversitarios del Fondo del Sistema, 10/10/12, CONARE, 5) Cierre de Proyecto Académico “Terapia Celular en Medicina Regenerativa” (Código 0396-11 EMV), 6) M. Estrada. Apertura y coordinación del proyecto “Unidad de Equinos y Especies Mayores” (Cód. FUNDAUNA 054502), que opera al Hospital Equino, 7) Coordinador del I Simposio Mundial y editor de M. Estrada. (2019). “Supplement: Abstracts from the “First Symposium on Regenerative Medicine and Nanotechnology”. Cienc. Vet. 37 (3): 1-5. ***¿Qué relación***

tiene el Hospital Equino con un proyecto de investigación en Medicina Regenerativa? “El caballo por ser un atleta igual que el ser humano es el animal idóneo para investigación de técnicas terapéuticas en patologías osteomusculares” (Colbath et al. 2017; Estrada et al. 2021), además de que “la rodilla y la tuberosidad coxal del caballo representan modelos para estudiar regeneración de hueso y cartilago en un sentido verdaderamente translacional” (Vindas et al. 2019). Hospital Equino & Medicina Regenerativa: desde el 2005 está en un proceso planificado de mejora continua, lo cual permite ofrecer un servicio de alta calidad (Fig. 2).

Figura 2

Galería de fotografías que muestra algunos de los procedimientos efectuados en el Hospital Equino, donde: (a) Artroscopia, (b) Inducción de anestesia general, (c) Cirugía con paciente de pie, (d) Imagen por laparoscopia de un quiste endometrial



Fuente: archivo de la Escuela Veterinaria UNA.

Proyectos futuros

Entrenamiento de personal, hacer la “II Fase de la UTC”, “Registro de Patentes” y la construcción de un nuevo Hospital Equino para los próximos 50 años.

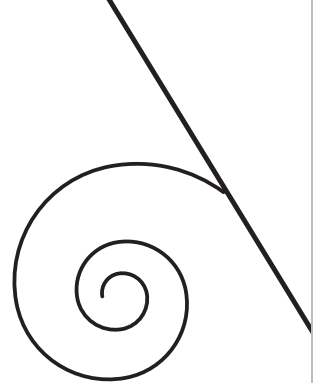
Agradecimientos

A Dios, a nuestros familiares y a todos los funcionarios de la UNA que siempre nos han apoyado en nuestros proyectos, pero con especial agradecimiento a Tati Brenes, Lizbeth Méndez y Maribel Arias de la EMV, conserjería de EMV, Dpto. Mantenimiento UNA, especialmente a Wilfrido Vindas, quien nos construye (2005) la primera mesa hidráulica de acero para cirugía equina, compañeros de la finca, PRODEMI y FUNDAUNA.

Bibliografía

- Atala, A., Lanza, R., Thomson, J. y Nerem, R. (2010). *Foundations of regenerative medicine*. Amsterdam: Academic Press Elsevier.
- Eap, S., Keller, L., Schiavi, J., Huck, O., Jacomine, L., Fioretti, F., Schwinté, P., y Benkirane-Jessel, N. (2015). A living thick nanofibrous implant bifunctionalized with active growth factor and stem cells for bone regeneration. *International Journal of Nanomedicine*, 10, 1061-1075.
- Centeno, C. J. y Pastoriza, S. M. (2020). Past, current and future interventional orthobiologics techniques. *International Journal Sports Physical Therapy*, 15 (2), 301-325.
- Cohrs, R.J., Martin, T., Ghahramani, P., Bidaut, L., Higgins, P., y Shazad, A. (2015). Translational Medicine definition by the European Society for Translational Medicine. *New Horizons in Translational Medicine*, 2(3), 86-88.
- Colbath, C., Frisbie, D., Dow, S., Kisiday, J. D., Mcilwraith, W., y Goodrich, L. (2017). Equine models for the investigation of Mesenchymal Stem Cell therapies in orthopaedic disease. *Operative Techniques in Sports Medicine*, 25(1), 41-49.
- Estrada-Umaña, M. (2019). Welcome. 35th World Veterinary Association Congress: Supplement Abstracts from the First Symposium on Regenerative Medicine and Nanotechnology. April 29th, 2017. *Revista Ciencias Veterinarias*, 37(3), 5.
- Estrada-McDermott, J., Pezzanite, L., Goodrich, L., Santangelo, K., Chow, L., Dow, S. y Wheat, W. (2021). Role of innate immunity in initiation and progression of osteoarthritis, with emphasis on horses. *Animals*, 11, 3247. <https://doi.org/10.3390/ani11113247>.
- Li, Wan-Ju, Gollapudi, K., Patterson, D. P., George, T. J., Huang, J., y Tuan, R. S. (2010). Cell-based therapies for musculoskeletal repair. En A. Atala (Ed.), R. Lanza (Ed.), J. Thompson (Ed.), y R. Nerem (Ed.), *Amsterdam: Foundations of regenerative medicine*. (pp 478-501), Elsevier.
- Sampogna, G., Guraya, S. Y., y Forgione, A. (2015). Regenerative medicine: historical roots and potential strategies in modern medicine. *Journal of Microscopy and Ultrastructure*, 3(3), 101-107.

- Stoltz, J. F., Zhang, L., Ye, J. S., y De Isla, N. (2017). Organ reconstruction: dream or reality for the future. *Bio-medical Materials Engineering*, 28:5121-5123.
- Vindas, R., Malda, J., Weeren, R. y van de Graw, J. (2019). The horse as a model for translational orthopedic research: examples of studies on the regeneration of cartilage and bone conducted in Costa Rica. *Ciencias Veterinarias*, 37(3), 1-5.



Caracterización de la reparación de lesiones de núcleo inducidas quirúrgicamente en el tendón flexor digital superficial equino

Roberto Estrada McDermott

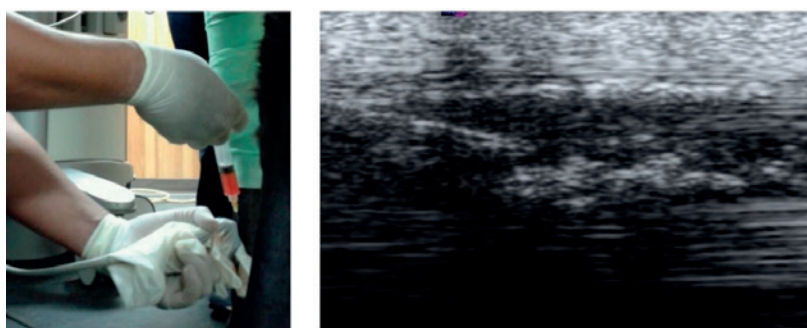
Introducción

Las tendinopatías son uno de los desórdenes musculoesqueléticos más comunes en equinos (Thorpe *et al.* 2010). Algunos tendones son más susceptibles a lesiones que otros y en particular, el tendón flexor digital superficial (TFDS) es una de las estructuras más comúnmente afectadas (Ely *et al.* 2009; Singer *et al.* 2008; Murray *et al.* 2006). La distribución de las lesiones de este tendón va a depender en gran medida de la disciplina que practiquen los animales, pero en general el TFDS afecta más comúnmente los miembros anteriores que los posteriores (Singer *et al.* 2008; Murray *et al.* 2006). Después del daño, la reparación tendinosa se da por medio de la formación de tejido cicatrizal desorganizada, que es, a su vez, de una calidad funcional inferior (Birch *et al.* 1998; Williams *et al.* 1980) y que conlleva tasas de recurrencia más elevadas (Goodship *et al.* 1994). Muchas de las modalidades de terapias actual-

mente disponibles no han podido reducir significativamente la alta recurrencia de estas lesiones (O'Meara *et al.* 2010; Gibson *et al.* 1997), lo que ha motivado continuar con la búsqueda de terapias más efectivas.

El tratamiento de lesiones de tendón y ligamento con productos autólogos derivados de sangre ha aumentado significativamente en los últimos años (Mishra *et al.* 2014; Deans *et al.* 2012; Bosch *et al.* 2010; Waselau *et al.* 2008). Los concentrados plaquetarios aparentan ser una opción prometedora ya que, con la activación de los trombocitos, se liberan más de 300 citoquinas bioactivas y factores de crecimiento. Estas sustancias actúan como mediadores humorales y catalizadores biológicos, promoviendo la reparación tisular (Mishra *et al.* 2014; Boswell *et al.* 2012).

Figura 1.
Inyección de concentrados plaquetarios guiada por ultrasonido al tendón flexor superficial.



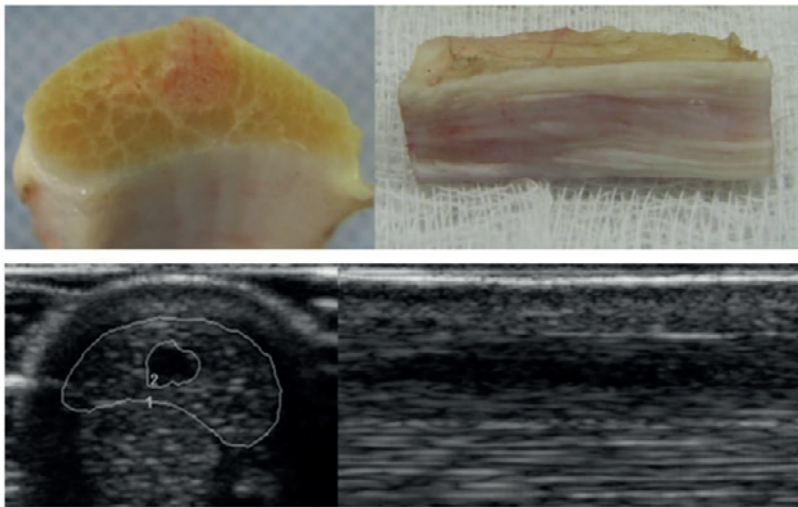
Fuente: archivo de la Escuela Veterinaria UNA.

El Plasma Condicionado Autólogo (ACP®, Arthrex Inc.) se ha descrito como un concentrado plaquetario con baja concentración de leucocitos (Hessel *et al.* 2014; McCarrel *et al.* 2012; Kissich *et al.* 2012). Este concentrado plaquetario se ha utilizado extensivamente para el tratamiento de lesiones clínicas de tendón en equinos y humanos, (Deans *et al.* 2012; Rindermann *et al.* 2010); no obstante, no existían estudios científicos que demostraran su efectividad en los pacientes. Estudios *in vitro* han demostrado que el kit de ACP logra concentrar plaquetas y factores de crecimiento, mientras disminuye la concentración de glóbulos blancos (McCarrel *et al.* 2012; Kissich *et al.* 2012).

Reportes recientes han demostrado que el modelo quirúrgico de lesiones de núcleo en el TFDS, asemeja de forma muy cercana ciertas características que se presentan en lesiones que ocurren de forma natural (Schramme *et al.*, 2010). Las características antes mencionadas hacen que este modelo sea atractivo para comparar el efecto de diferentes modalidades de terapia en la reparación del tendón con condiciones más estandarizadas y controladas que son lesiones ocurridas naturalmente. No obstante, hasta ese momento no se sabía a ciencia cierta si existían diferencias en la capacidad de reparación tisular entre miembros anteriores y posteriores en el equino.

Figura 2.

Modelo quirúrgico de inducción de lesión del tendón flexor superficial. Comparación de la lesión macroscópica con la lesión ultrasonográfica. Este modelo se asemeja mucho a las lesiones encontradas clínicamente en los equinos.



Fuente: archivo de la Escuela Veterinaria UNA.

El objetivo principal de este estudio fue evaluar el efecto del ACP en la reparación de lesiones de núcleo estandarizadas, inducidas quirúrgicamente del TFDS en equinos y comparar con placebo, además se esperaba determinar si existían diferencias significativas entre el patrón de reparación comparando los miembros anteriores con los posteriores.

Este proyecto se desarrolló como un trabajo multidisciplinario, multiinstitucional, multinacional y basado en una alianza público-privada internacional entre el Hospital Equino, Escuela de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional, Costa Rica; Departamento de Bioquímica y Biología Celular, Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad de Utrecht, Holanda; Departamento de Ortopedia, Erasmus MC, Centro Médico Universitario, Holanda; Departamento de Ciencias Equinas, Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad de Utrecht, Holanda; Hospital Equino, Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Libre de Berlín, Alemania y la empresa Arthrex Inc. Esta alianza se realizó con el fin de buscar líneas de terapias que tuvieran el potencial de disminuir el riesgo de recurrencia de las lesiones del tendón flexor superficial en equinos, con lo cual se mejora así el pronóstico deportivo de nuestros pacientes. Se escogió un kit de concentración plaquetaria de Arthrex Inc (ACP) que había presentado resultados prometedores en el laboratorio. Las prácticas de la inducción de la lesión y la organización y planteamiento del proyecto se realizaron desde Alemania. El estudio experimental se realizó en el Hospital Equino, Universidad Nacional, Costa Rica. En este estudio se indujeron lesiones de tendón por medio de un modelo quirúrgico mínimamente invasivo en el tendón flexor digital superficial (TFDS) equino. Después de la inducción se procedió a tratar las lesiones con placebo o ACP aleatoriamente. Con la ayuda del Instituto Clodomiro Picado se analizaron muestras de los concentrados plaquetarios para determinar la concentración de factores de crecimiento. Durante el estudio se realizó una rehabilitación con ejercicio controlado y se monitoreó los pacientes por medio de ultrasonido convencional y *doppler* de color por un periodo de seis meses. Finalizado este periodo, se sacrificaron humanitariamente los animales, se colectaron y prepararon los tendones, y se enviaron a Holanda para la realización de múltiples estudios histológicos, bioquímicos y biomecánicos en Utrecht y Rotterdam. Los resultados obtenidos fueron analizados en Alemania y de estos se derivaron dos estudios publicados (Estrada *et al.*, 2014 a, Estrada *et al.*, 2014 b) y una tesis doctoral cumulativa (Estrada, 2014 c).

Resultados

- Veintitrés semanas posteriores al tratamiento, los tendones tratados con ACP presentaban una concentración de glicosaminoglicanos significativamente menores que el placebo ($p=0.05$). Todos los demás parámetros evaluados no presentaban diferencias significativas.
- Veintitrés semanas post-op las lesiones del TFDS de los miembros anteriores presentaban un incremento significativo del score de vascularización con color *doppler* ($p=0.02$) y concentración de glicosaminoglicanos ($p=0.04$), pero una disminución significativa de la concentración de hidroxilisilpiridinoline ($p=0.03$) cuando se comparaba con los miembros posteriores.

Discusión

Nuestros resultados demostraron que el tratamiento con ACP en lesiones inducidas por medio de cirugía en el TFDS en equinos, tenía una influencia limitada sobre la reparación de los tendones cuando se comparaba al placebo. En este estudio, la mayoría de los parámetros ultrasonográficos, bioquímicos, biomecánicos e histológicos no presentaron diferencia significativa entre la terapia y el placebo. Únicamente se presentó una disminución significativa de la concentración de glicosaminoglicanos en los tendones tratados con ACP. Esto podría ser interpretado como un posible efecto positivo, pero limitado, de esta terapia en reparación de estas lesiones de tendón.

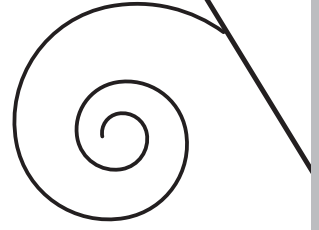
Por otro lado, este estudio demostró diferencias significativas en el score ultrasonográfico de vascularización (*doppler* de color) y en la concentración de glicosaminoglicanos y la hidroxilisilpiridinolina (HP), al comparar los miembros anteriores y posteriores tratados con placebo. Estas diferencias sugieren que solo se debería utilizar el miembro contralateral para poder comparar terapias y que los estudios que comparan los cuatro miembros al mismo tiempo no deberían de ser utilizados, hasta que las razones de estas diferencias sean mejor entendidas.

Bibliografía

- Birch, H.L., Bailey, A. J. y Goodship, A. E. (1998). Macroscopic degeneration of equine superficial digital flexor tendon is accompanied by a change in extracellular matrix composition. *Equine Veterinary Journal*, 30(6), 534-539.
- Bosch G., van Weeren, P. R., Barneveld, A. y van Schie, H. T. (2011a). Computerised analysis of standardised ultrasonographic images to monitor the repair of surgically created core lesions in equine superficial digital flexor tendons following treatment with intratendinous platelet rich plasma or placebo. *Veterinary Journal*, 187(1), 92-98.
- Bosch, G., Moleman, M., Barneveld, A., van Weeren, P. R., y van Schie, H. T. (2011b). The effect of platelet-rich plasma on the neovascularization of surgically created equine superficial digital flexor tendon lesions. *Scandinavian Journal Medicine Science Sports*, 21(4), 554-561.
- Bosch G., van Schie, H. T., de Groot, M. W., Cadby, J. A., van de Lest, C.H., Barneveld, A. y van Weeren, P.R. (2010). Effects of platelet-rich plasma on the quality of repair of mechanically induced core lesions in equine superficial digital flexor tendons: A placebo-controlled experimental study. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19714688>
Journal Orthopaedic Research, 28(2), 211-217.
- Boswell, S. G., Cole, B. J., Sundman, E. A., Karas, V. y Fortier, L. A. (2012). Platelet-rich plasma: a milieu of bioactive factors. *Arthroscopy*, 28(3), 429-439.
- Deans, V. M., Miller, A. y Ramos, J. (2012). A prospective series of patients with chronic Achilles tendinopathy treated with autologous-conditioned plasma injections combined with exercise and therapeutic ultrasonography. *Journal of Foot Ankle Surgery*, 51(6), 706-710.
- Ely, E. R., Avella, C. S., Price, J. S., Smith, R. K., Wood, J. L. y Verheyen, K. L. (2009). Descriptive epidemiology of fracture, tendon and suspensory ligament injuries in National Hunt racehorses in training. *Equine Veterinary Journal*, 41(4), 372-378.
- Estrada, R. J.; van Weeren, R.; van de Lest, C. H. A.; Boere, J.; Reyes, M.; Ionita, J.C.; Estrada, M.; Lischer, C.J. (2014 a) Effects of Autologous Conditioned Plasma ® (ACP) on the healing of surgically induced core lesions in equine

- superficial digital flexor tendon. *Pferdeheilkunde Nov./ Dec.* 30(6).
- Estrada, R.J.; van Weeren, R.; van de Lest, C. H. A.; Boere, J.; Reyes, M.; Ionita, J.C.; Estrada, M; Lischer, C. J. (2014 b) Comparison of healing of fore-and hindlimb surgically induced core lesions of the equine superficial digital flexor tendon. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, Jul, 27(5), 358-365.
- Estrada, R. J. (2014 c). Healing characterization of surgically induced core lesions of the equine superficial digital flexor tendon. Tesis Doctoral, Universidad Libre de Berlín. Mensch and Buch Verlag. ISBN: 978-3-86387-533-6 URN: urn:nbn:de:kobv:188-fudissthesis000000097696-7
- Gibson, K. T., Burbidge, H. M., y Pfeiffer, D. U. (1997). Superficial digital flexor tendonitis in thoroughbred race horses: outcome following non-surgical treatment and superior check desmotomy. *Australian Veterinay Journal*, 75(9), 631-635.
- Goodship, A. E., Birch, H. L. y Wilson, A. M. (1994). The pathobiology and repair of tendon and ligament injury. *Vetenary Clinics North America Equine Practice*, 10(2), 323-349.
- Hessel, L. N., Bosch, G., van Weeren, P. R., y Ionita, J. C. (2014). Equine autologous platelet concentrates: a comparative study between different available systems. *Equine Veterinary Journal*, 47(3), 319-325 doi: 10.1111/evj.12288.
- Kissich, C., Gottschalk, J., Lochmann, G., Einspanier, A., Böttcher, P., Winter, K., Brehm, W. y Ionita, J. C. (2012). Biochemische Eigenschaften des equinen Autologous Conditioned Plasma (ACP). *Pferdeheilkunde*, 28(3), 258-267.
- McCarrel, T. M., Minas, T. y Fortier, L. A. (2012). Optimization of leukocyte concentration in platelet-rich plasma for the treatment of tendinopathy. *Journal of Bone Joint Surgery American*, 94(19), 1-8.
- Mishra, A. K., Skrepnik, N. V., Edwards, S.G., Jones, G. L., Sampson, S., Vermillion, D. A., Ramsey, M. L., Karli, D.C. y Rettig, A. C. (2014). Platelet-rich plasma significantly improves clinical outcomes in patients with chronic Tennis Elbow: a double-blind, prospective, multicenter, controlled trial of 230 patients. *American. Journal. Sports Medicine*, 42(2), 463-471.

- Murray, R.C., Dyson, S. J., Tranquille, C. y Adams, V. (2006). Association of type of sport and performance level with anatomical site of orthopaedic injury diagnosis. *Equine Veterinary Journal*, Supplement. 36, 411-416.
- O'Meara, B., Bladon, B., Parkin, T. D., Fraser, B. y Lischer, C. J. (2010). An investigation of the relationship between race performance and superficial digital flexor tendonitis in the Thoroughbred racehorse. *Equine Veterinary Journal*, 42(4), 322-326.
- Rindermann, G., Cislakova, M., Arndt, G. y Carstanjen, B. (2010). Autologous conditioned plasma as therapy of tendon and ligament lesions in seven horses. *Journal Veterinary Science*, 11(2), 173-175.
- Schramme, M., Hunter, S., Campbell, N. Blikslager, A. y Smith, R. (2010). A surgical tendonitis model in horses: technique, clinical, ultrasonographic and histological characterisation. *Veterinary Comparative. Orthopaedics Traumatology*, 23(4), 231-239.
- Singer, E. R., Barnes, J., Saxby, F. y Murray, J. K. (2008). Injuries in the event horse: training versus competition. *Veterinary Journal*, 175(1), 76-81.
- Thorpe, C. T., Clegg, P. D. y Birch, H. L. (2010). A review of tendon injury: why is the equine superficial digital flexor tendon most at risk? *Equine Veterinary Journal*, 42(2), 174-180.
- Waselau, M., Sutter, W. W., Genovese, R. L. y Bertone, A. L. (2008). Intralesional injection of platelet-rich plasma followed by controlled exercise for treatment of midbody suspensory ligament desmitis in Standardbred racehorses. *Journal American Veterinary Medical Association*, 232(10), 1515-1520.
- Williams, I. F., Heaton, A. y McCullagh, K. G. (1980). Cell morphology and collagen types in equine tendon scar. *Research. Veterinary Science*, 28(3), 302-310.
- Williams, I. F., McCullagh, K. G., Goodship, A. E. y Silver, I. A. (1984). Studies on the pathogenesis of equine tendonitis following collagenase injury. *Research Veterinary Science*, 36(3):326-38.



Estudios ortopédicos en equinos sobre regeneración traslacional de cartílago y hueso, utilizando ingeniería de tejidos y bioimpresión en 3D

Rafael Ángel Vindas Bolaños

Introducción

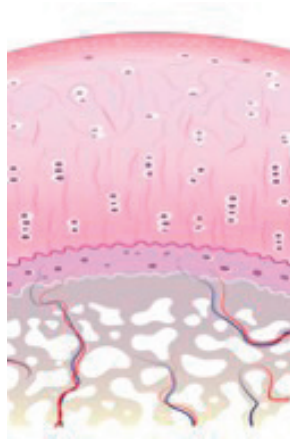
Continuando con una tendencia mundial, en Costa Rica, la medicina regenerativa ha venido evolucionando y fortaleciéndose con tecnologías que fomentan la innovación de lo que se considera la medicina del futuro y la verdadera medicina regenerativa traslacional. Desde inicio de los años 90, el Dr. Rafael Vindas Bolaños ha mantenido estrecha relación de formación profesional en cirugía de equinos, especies mayores y medicina regenerativa traslacional con su tutor de grado y doctorado, profesor Dr. René van Weeren, jefe del Departamento de Ciencias Equinas de la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad de Utrecht, Países Bajos. Mediante una pasantía en la Universidad de Hannover de Alemania y de Utrecht de Países Bajos en el año 2009, se organizó la idea de un proyecto de doctorado que logró empezar a finales del 2012 y

culminar con un Ph.D., en Medicina Regenerativa de Cartílago y Hueso de Equinos en el año 2019. Con este trabajo, se inicia una etapa novedosa de contactos internacionales, entrenamientos, capacitaciones, estudios y publicaciones en medicina regenerativa traslacional de cartílago y hueso, mediante la utilización de nanotecnología, ingeniería de tejidos, estimulación de la médula ósea y bioimpresión en 3D, mediante un trabajo integral entre la Universidad Nacional, el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones (MICITT) y el Consejo Nacional para Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT) de Costa Rica; la Universidad y el Centro Médico de Utrecht y la Universidad de Twente de los Países Bajos; el European Community's Seventh Framework Programme, el European Research Council y el Dutch Arthritis Foundation. Para ello, se realizaron implantes de andamios, hidrogeles y matrices experimentales en las articulaciones de las rodillas del caballo adaptando el modelo descrito por el grupo de investigación de Fort Collins, Colorado State University (McIlwraith *et al.* 2011) y en un modelo de la tuberosidad coxal del equino original, diseñado, probado y publicado por primera vez (Vindas *et al.* 2020), con lo cual se obtuvieron resultados significativos y prometedores. El cartílago, el hueso subcondral (Unidad Osteocondral) y el hueso compacto son tejidos que tienen sus propias particularidades, pero están estrechamente asociados en el organismo de los mamíferos, partiendo de ese conocimiento, podemos crear estrategias de regeneración y tratamientos novedosos que permitan una mayor calidad de vida de los animales y del ser humano.

Aspectos básicos del cartílago, hueso subcondral y hueso, así como aplicación de defectos in vivo para estudios de regeneración

Figura 1.

Vista del cartílago en condiciones naturales. El cartílago hialino tiene tres zonas: superficial, media y profunda. Posteriormente continúa una capa de cartílago calcificado y hueso subcondral.



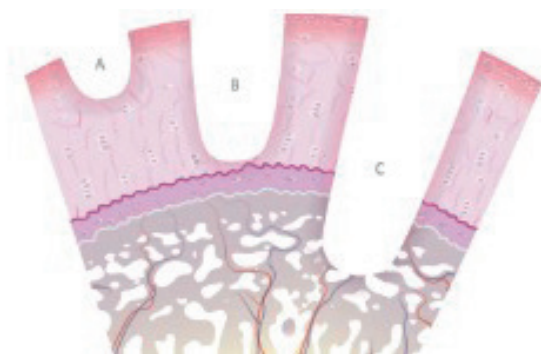
Fuente: archivo de la Escuela Veterinaria UNA.

La figura anterior ilustra al cartílago hialino como un tejido que pareciera ser una estructura simple, pero es más compleja de lo que pensamos, porque cuando somos adultos ya no se regenera, a diferencia de tejidos como el hueso o de la piel que poseen una capacidad de regeneración permanente, ¿por qué?, no hay una explicación concreta, pero se asocia a que tiene pocas células (5-12 % de condrocitos), no hay vascularización, no tiene inervación y las células tienen poco movimiento. Básicamente, la matriz extracelular está formada de agua (70 %), fibras de colágeno (20 %) en su mayoría tipo II ordenadas en forma de arco y proteoglicanos (10 %). Al llegar al hueso, tenemos una separación de una capa de calcificación y el hueso subcondral donde hay un plato subcondral y el hueso esponjoso. Todas esas estructuras dan la capacidad de flexibilidad y amortiguación a la articulación (Todhunter and C. W. 1996; Vindas 2019a).

Se considera un gran reto poder regenerar cartílago hialino articular, porque una vez que alcanzamos la fase adulta, las lesiones, por lo general, van a permanecer, produciendo una reparación con tejido de inferior calidad al natural y no la verdadera regeneración del tejido de origen. Por esta razón, hay tanto interés en todo el mundo en investigar matrices que lo regeneren, con lo cual se contribuya en la mejora de la salud de aquellas personas con lesiones dolorosas recurrentes, que culminan en osteoartritis u osteoartrosis y dan mala calidad de vida (McIlwraith *et al.* 2011; Vindas *et al.* 2021).

Figura 2.

Clasificación de defectos: A. Parcial; B. Completo excluyendo la capa de cartílago calcificado; C. Osteocondral.



Fuente: archivo de la Escuela Veterinaria UNA.

El cartílago hialino de la rodilla del equino mide entre 2-3 milímetros y se utiliza mucho para estudios traslacionales, ya que la arquitectura es similar al de las personas. Además, la empresa equina requiere innovar tratamientos para que las lesiones originadas de eventos recreativos, deportivos o de trabajos en el campo, sanen más rápida y eficientemente. Muchas investigaciones en animales las podemos extrapolar al humano, lo que se conoce como medicina regenerativa traslacional. La Figura 2 muestra tres opciones de defectos que realizamos en las investigaciones del cartílago y hueso subcondral: A. Defecto parcial para estudios condrales, B. Defecto completo sin llegar al hueso subcondral para estudios condrales y C. Defecto osteocondral para estudios de lo que se conoce como la Unidad Osteocondral (cartílago y hueso subcondral) (Vindas, 2019 a).

Fijación de matrices en defectos condrales u osteocondrales

Descubrimos que cuando usábamos goma con fibrina comercial para fijar un implante condral se producía una reacción inflamatoria con pérdida de la estructura ósea, probablemente asociado a que tenía componentes humanos. También se probó una goma de fibrina del mismo animal (autóloga) que no presentó tanta reacción y funcionó mejor; sin embargo, el procedimiento para elaborarla era complejo y no mostró los resultados esperados. Para los defectos osteocondrales y del tejido óseo la mejor alternativa fue la técnica a presión. La Universidad de Twente había probado un novedoso hidrogel autoadherible en estudios *in vitro*, que probamos en las rodillas de los equinos en la Universidad Nacional, con lo cual se corrobora la capacidad de autoadherencia que posee y su potencial para estudios clínicos (Mancini/Vindas *et al.* 2017; Moreira *et al.* 2012; Vindas *et al.* 2019 b).

Creación del modelo de la tuberosidad coxal del equino para investigación

Figura 3.
*Modelo de la tuberosidad coxal del equino
"con sello UNA" (Vindas et al. 2020).*



Fuente: archivo de la Escuela Veterinaria UNA.

Se diseñó, implementó y publicó por primera vez el modelo de la tuberosidad coxal del equino (Figura 3) para estudios óseos regenerativos. Si bien el hueso se regenera, cuando hay fracturas extensas, edad avanzada o enfermedades óseas, esta capacidad se ve reducida. Esto también se asocia a las investigaciones del cartílago articular, porque lo podemos extrapolar al hueso subcondral, ya que comparten algunas similitudes (Vindas *et al.* 2020).

En un experimento se demostró que los andamios usados a base de fosfato y calcio producían osteoconducción (movimiento del tejido óseo alrededor al andamio) y osteoinducción (células que inducen la regeneración). En los defectos control se formó un tejido fibroso de baja calidad, mientras los andamios implantados formaron una matriz de tejido óseo, con reabsorción y degradación significativa del andamio (Vindas *et al.* 2020).

La continuación del estudio analizó la importancia de la porosidad en dos andamios bioimpresos en 3D. Uno con porosidad constante de 750 μm y otro con porosidad gradiente ascendente de 750 μm a 450 μm . Ambos cubiertos por una cápsula cilíndrica con tapa de PCL (policaprolactona) y abertura ventral, simulando la pérdida de periostio. Se demostró que el andamio de porosidad constante fue superior y estadísticamente significativo en las mediciones de volumen óseo y degradación del andamio (Diloksumpan/Vindas *et al.* 2020).

Investigaciones de regeneración de cartílago y hueso subcondral en equinos

Figura 4.

*Artrotomía de la rodilla del equino para colocar
implantes de las investigaciones.*



Fuente: archivo de la Escuela Veterinaria UNA.

Por primera vez en el país se realizaron cirugías abiertas bajo anestesia general en las rodillas de los equinos (artrotomía, Figura 4), para investigaciones de regeneración del tejido condral u osteocondral con matrices bioimpresas en 3D (Vindas *et al.* 2017a).

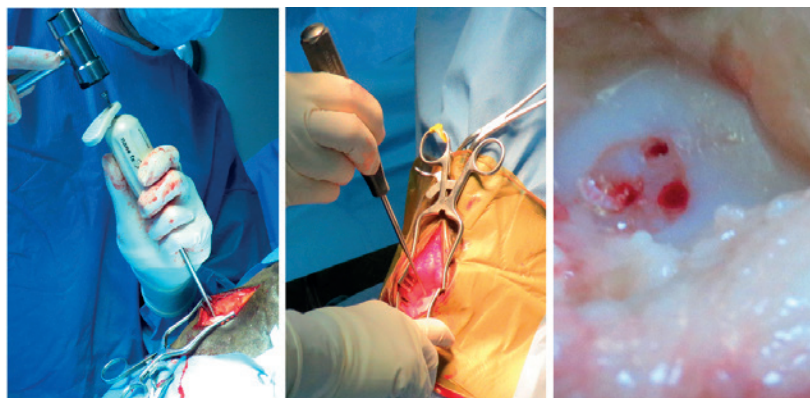
En un primer estudio del hueso subcondral de la rodilla, comparamos andamios con o sin trifosfato de calcio. Los de trifosfato de calcio mostraron mayor tejido óseo subcondral regenerado y pese a no obtenerse una estadística significativa entre ambos, concluimos que este tipo de investigaciones deberían ser por períodos más largos. Logramos obtener más colágeno tipo I y menos tipo II, indicativo de mayor regeneración del tejido subcondral y menor del condral (Vindas *et al.* 2017 a; Vindas *et al.* 2017 b).

Nanofractura para estimular la médula ósea en defectos condrales de la rodilla del caballo (in vivo) y su potencial de regeneración de cartílago

Figura 5.

Secuencia de estimulación de médula ósea, técnicas de nanofractura (izquierda), microfractura (centro) y defecto condral luego del estímulo a la médula ósea (derecha).

La nanofractura se había usado en humanos, pero nunca en caballos, donde tradicionalmente se utiliza un tipo de punzón más grueso que causa mucho daño tisular (microfractura). Se publicó por primera vez la técnica, utilizando una aguja nitinol (aleación de níquel y titanio) de 1 mm, guiada con una pistola de manera controlada hasta la médula ósea, con lo cual se estimulara la salida de sangre con potencial regenerativo desde un defecto condral (Figura 5). (Cokelaere/Vindas *et al.* 2020; Vindas *et al.* 2021).



Fuente: archivo de la Escuela Veterinaria UNA.

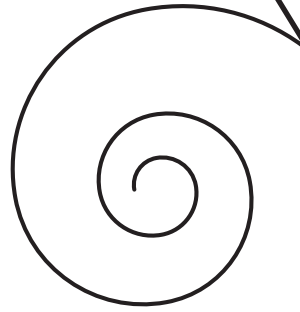
Proyectos a futuro

Se coordinará el Proyecto Internacional de Medicina Regenerativa Traslacional, así como el Laboratorio de Medicina Regenerativa Traslacional, remodelado y equipado con la compra de la primera bioimpresora 3D del país y del área, gracias al apoyo de la Escuela de Medicina Veterinaria y la Vicerrectoría de Investigación, que permitan imprimir células y biomateriales con "sello UNA". Se integrarán equipos de trabajo con científicos de la Universidad Nacional y otras instituciones nacionales e internacionales tales como el Dr. René van Weeren y el Dr. Jos Malda de Utrecht, Países Bajos, entre otros, usando avances de la tecnología actual en el marco del concepto Una-Salud-Una-Medicina, con el propósito de dar los pasos necesarios en la Medicina Regenerativa Traslacional que permitan mejorar la calidad de vida de las generaciones actuales y futuras.

Bibliografía

- Cokelaere, S. M., Vindas, R. A., Both, S. K., Vullers, M., Korthagen, N. M., van Weeren, P. R., y de Grauw, J. C. (2020). Nanofracturing: a new technique for bone marrow stimulation in equine cartilage repair. *Pferdeheilkunde Equine Medicine*, 36(2), 100–106. <https://doi.org/10.21836/pem20200201>
- Diloksumpan, P., Vindas, R. A., Cokelaere, S., Pouran, B., de Grauw, J., van Rijen, M., van Weeren, R., Levato, R., y Malda, J. (2020). Orthotopic bone regeneration within 3D printed bioceramic scaffolds with region-dependent porosity gradients in an equine model. *Advanced Healthcare Materials*, 9(10), 1901807. <https://doi.org/10.1002/adhm.201901807>
- Mancini, I., Vindas, R. A., Brommer, H., Castilho, M., Ribeiro, A., van Loon, J., Mensinga, A., van Rijen, M., Malda, J., y van Weeren, R. (2017). Fixation of hydrogel constructs for cartilage repair in the equine model: a challenging issue. *Tissue Engineering Part C: Methods*, 23(11), 804-814. <https://doi.org/10.1089/ten.tec.2017.0200>
- Mcllwraith, W.C., Fortier, L. A., Frisbie, D. D., y Nixon, A. J., (2011). Equine models of articular cartilage repair. *Cartilage* 2(4), 317-326.
- Moreira Teixeira, L. S., Bijl, S., Pully, V. V., Otto, C., Jin, R., Feijen, J., van Blitterswijk, C. A., Dijkstra, P. J., y Karperien, M. (2012). Self-attaching and cell-attracting in-situ forming dextran-tyramine conjugates hydrogels for arthroscopic cartilage repair. *Biomaterials*, 33(11), 3164-3174.
- Todhunter, R. J., (1996). Anatomy and physiology of synovial joints. En C. W. Mcllwraith (Ed.), y G.W. Trotter (Ed.), Philadelphia: Joint disease in the horse (pp. 1-28), Saunder.
- Vindas, R. A., Malda, J., y van Weeren, R. (noviembre 29-diciembre 10, 2021). Estudios ortopédicos traslacionales sobre regeneración de cartílago y hueso, realizados entre la Universidad Nacional de Costa Rica y la Universidad de Utrecht de los Países Bajos. [Sesión de conferencia]. IX Encuentro Anual de Medicina Veterinaria, Heredia, Costa Rica. https://www.youtube.com/watch?v=vFaV_zTvtYI&t=2425s&ab_channel=EncuentroAnualMedVetUNA2021

- Vindas, R. A. (2019). Cell-free regenerative medicine (RM) strategies for cartilage and bone put to the test in the challenging equine in vivo model. [Tesis doctoral, Universidad de Utrecht]. Repositorio Universidad de Utrecht <https://dspace.library.uu.nl/handle/1874/378385>
- Vindas, R. A., Castillo, M., de Grauw, J., Cokelaere, S., Plomp, S., Groll, J., van Weeren, P. R., Gbureck, U., y Malda, J. (2020). Long-term in vivo performance of low-temperature 3D-printed: bioceramics in an equine model. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, 6(3), 1681-1689. <https://doi.org/10.1021/acsbomaterials.9b01819>
- Vindas, R. A., Cokelaere, S. M., Estrada, J. M., Benders, K. E. M., Gbureck, U., Plomp, S. G. M., Weinans, H., Groll, J., van Weeren, P. R., y Malda, J. (2017a). The use of a cartilage decellularized matrix scaffold for the repair of osteochondral defects: the importance of long-term studies in a large animal model. *Osteoarthritis and Cartilage*, 25(3), 413–420. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2016.08.005>
- Vindas, R. A., Malda, J., Cokelaere, S., McDemmott, J. M., van Weeren, R. (2017 b). Avances de la medicina regenerativa de cartílago y hueso en equinos a nivel nacional e internacional. Ponencia en el XXII Congreso Nacional de Medicina Veterinaria.
- Vindas R. A., Malda J., van Weeren, R., de Grauw, J. (2019). The horse as a model for translational orthopedic research: examples of studies on the regeneration of cartilage and bone conducted in Costa Rica. 35th World Veterinary Association Congress: Supplement Abstracts from the First Symposium on Regenerative Medicine and Nanotechnology. April 29th, 2017. *Revista Ciencias Veterinarias*, 37(3), 9-10.

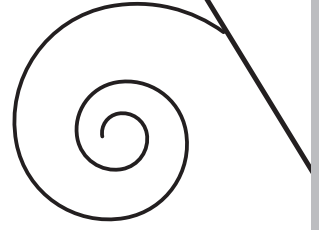


Capítulo II

UNA salud: un abordaje a las enfermedades zoonóticas en Costa Rica

Caterina Guzmán Verri¹,
Carlos Jiménez Sánchez²,
Elías Barquero-Calvo³,
Lohendy Muñoz-Vargas⁴,
Amanda Castillo Zeledón⁵,
Mario Baldi Salas⁶

-
- 1 Caterina Guzmán Verri recibió su Ph.D. en la Universidad I Instituto Karolinska en Suecia. Se ha dedicado a estudiar las razones por las cuales las bacterias del género *Brucella*, causan infección en humanos y animales. Su investigación se centra en el comprender cómo se transgreden estas barreras biológicas, particularmente cómo un microorganismo se puede adaptar a vivir en otro hospedero.
 - 2 El Dr. Jiménez Sánchez se graduó de médico veterinario en la Universidad Nacional en 1981 y obtuvo su Doctorado en Medicina Veterinaria (Dr. Med. Vet.) en la Universidad de Giessen, Alemania, en 1990.
 - 3 Elías Barquero-Calvo recibió su Ph.D. en la Universidad de Costa Rica. Su principal interés es las infecciones bacterianas y las interacciones huésped-parásito de enfermedades de relevancia veterinaria y de salud pública. Su investigación se centra en los mecanismos detrás de la respuesta temprana de la inmunidad innata y el papel de los neutrófilos en la brucelosis y al análisis del perfil de resistencia a antibióticos de algunos patógenos bacterianos.
 - 4 Lohendy Muñoz Vargas es médica veterinaria y realizó sus estudios de posgrado en Estados Unidos como becaria Fullbright Laspau, alcanzó su Maestría en Salud Pública, Especialidad en Salud Global, y Doctorado en Medicina Comparativa y Veterinaria en The Ohio State University. Es académica e investigadora en la Universidad Nacional de Costa Rica, en donde coordina el área de Salud Pública e Inocuidad Alimentaria.
 - 5 La Dra. Amanda Castillo Zeledón es licenciada en Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional. Posee una Maestría en Microbiología de la Universidad de Costa Rica. Es miembro activo del Programa de Investigación en Enfermedades Tropicales. Actualmente es estudiante de Ph.D. en la Universidad de Costa Rica.
 - 6 Interesado en la dinámica de agentes infecciosos zoonóticos y sus reservorios naturales, el Dr. Baldi se graduó como médico veterinario de la Universidad Nacional, posterior a esto se dedicó a la práctica de medicina en animales silvestres, concretada su Maestría en Salud de Animales Silvestres en la Universidad de Londres en el Real Colegio de Veterinaria (Sociedad Zoológica de Londres) en Inglaterra y posteriormente realizó sus estudios de Doctorado con Énfasis en Medicina de la Conservación en la Universidad Veterinaria de Viena, Austria.



Introducción

El concepto Una Salud fue consensuado recientemente por el One Health High-Level Expert Panel (OHHLEP) 2022, como “un enfoque integrador y unificador que pretende equilibrar y optimizar de forma sostenible la salud de las personas, los animales y los ecosistemas. Reconoce que la salud humana, de los animales domésticos y salvajes, de las plantas y el medio ambiente en general están estrechamente vinculados y son interdependientes. Este enfoque moviliza a múltiples sectores, disciplinas y comunidades de la sociedad, para trabajar juntos, fomentar el bienestar y hacer frente a las amenazas a la salud y a los ecosistemas, al mismo tiempo que se abordan las necesidades colectivas de contar con agua, energía y aire limpios, alimentos seguros y nutritivos, actuando sobre el cambio climático y contribuyendo al desarrollo sostenible”.

Esta definición aboga por la integración de conocimientos de la ciencia y la medicina, para lograr comprender mejor los problemas de salud de la sociedad moderna. Esta propuesta deja de lado las visiones reduccionistas, aisladas y presentes en los diferentes silos del conocimiento, ampliando el panorama para el trabajo colaborativo en la búsqueda de solución de estos problemas.

Costa Rica es un país con una riqueza geográfica que alberga una gran variedad de organismos que coexisten. Esta biodiversidad, y la complejidad de la dinámica de estos ecosistemas entre los seres vivos y no vivos, genera una interdependencia. La pandemia causada por el virus SARS-COV2 es un ejemplo muy claro de esta interdependencia, y de lo poco que conocemos de las

enfermedades infecciosas, en particular las emergentes: aquellas que aparecen y afectan a una población por primera vez, o se dispersan rápidamente. El estudio enfocado a los ecosistemas debe realizarse de forma integral; el estudio de los agentes infecciosos que circulan en estos entornos no es la excepción. La investigación de estos agentes ha demostrado que no están circunscritos a una sola especie, sino a una variedad, incluido el ser humano, algunos de ellos afectados con sintomatología clínica, otros sin evidencia de estar infectados, actúan como reservorios y mantienen la circulación en el ecosistema. En términos teóricos, la aproximación de silos de conocimiento y la cooperación son el pilar fundamental del abordaje Una Salud; sin embargo, en términos prácticos, este abordaje dista de ser realista e implementable. Muchas son las razones que circundan la incapacidad de llevarlo a la realidad, figura el pensamiento reduccionista de las personas e instituciones, las diferencias entre agendas científicas, las brechas económicas y el desconocimiento de la posibilidad de colaboración a niveles multidisciplinarios. En este capítulo pretendemos ilustrar, con algunas experiencias de investigación, cómo el concepto Una Salud es el eje transversal del quehacer del Programa de Investigación de Enfermedades Tropicales (PIET). Desde su oficialización, en el año 1988, el PIET ha promovido la integración de saberes, demostrando que es posible concatenar diferentes disciplinas con el fin de mejorar el conocimiento, diagnóstico e investigación de las enfermedades infecciosas tropicales que amenazan la salud de los humanos, los animales domésticos y salvajes, así como de los ecosistemas. Esto se ha logrado gracias a la participación de personas de todas las edades, disciplinas, estudiantes nacionales e internacionales, de grado y posgrado, personas investigadoras de otras universidades y organismos del país y extranjeros, que promueven la discusión de los temas desde múltiples saberes. La coordinación de estas voces y pensamientos se ha logrado gracias a la visión de las personas que contribuyeron a generar lo que es el PIET hoy día, quienes con resiliencia y perseverancia ante las limitaciones, estuvieron siempre motivados en contribuir a aliviar el sufrimiento humano y animal.

La intención del PIET ha estado dirigida a generar conocimiento con la mayor excelencia y visualización posibles, para que el conocimiento sobrepase la frontera académica-universitaria y pueda llegar donde se necesite. Esta misma intención permite establecer colaboraciones económicas, intercambios estudiantiles

y de investigación desde y hacia países y organizaciones con intereses similares. La historia relatada por el PIET a continuación marca una ruta evolutiva de una dinámica de trabajo adaptada para avanzar de la mano del conocimiento, la colaboración y el mundo entero, con la aspiración de mejorar el bienestar de nuestra sociedad y del planeta.

El caso de la brucelosis en Costa Rica

La brucelosis: una enfermedad que perpetúa el ciclo de la pobreza

La brucelosis es una enfermedad causada por bacterias del género *Brucella* y descrita principalmente en animales mamíferos, tanto de producción como de vida silvestre y mascotas. Causa aborto en animales de producción, genera pérdidas económicas con mayor afectación para los emprendimientos medianos y pequeños. Es una enfermedad zoonótica, es decir, afecta a los seres humanos de forma accidental y es transmitida de los animales a las personas. Es, por lo tanto, una enfermedad que requiere de un abordaje Una Salud para poder ser comprendida, controlada y erradicada. Según la OMS, la brucelosis es una de las zoonosis más extendidas a escala mundial, y causa serios problemas de salud pública. Paradójicamente es clasificada como una enfermedad “con herramientas escasas”, pues los avances en su erradicación fueron pocos cuando estuvo incluida en la lista de zoonosis desatendidas. Esta se transmite cuando las personas entran en contacto con material o secreciones de animales infectados. La bacteria ingresa a través de la mucosa, como la respiratoria, ocular o digestiva, incluye la ingesta de alimentos como quesos y leche no pasteurizada. La enfermedad es crónica, con síntomas y signos inespecíficos, como fiebre, dolor articular, cansancio e incluso meningitis, que puede causar la muerte. Es frecuente que sea diagnosticada inapropiadamente como una fiebre de origen desconocido, como malaria o alguna enfermedad viral, con una afectación emocional para el paciente por no

tener una respuesta a su malestar. El tratamiento de la enfermedad incluye dos antibióticos administrados por largo tiempo, pues la bacteria se multiplica dentro de las células del hospedero, particularmente las del sistema inmune como macrófagos y neutrófilos, así como células trofoblásticas de la placenta.

Además de *Brucella abortus*, las especies mejor caracterizadas y zoonóticas son *Brucella melitensis*, *Brucella suis* y *Brucella canis*, que causan aborto e infertilidad en bovinos, cabras y ovejas, cerdos y caninos respectivamente. Otras especies también muestran especificidad de hospedero, como *B. ovis*, *B. pinnipedialis* y *B. ceti*, que infectan particularmente ovejas, pinnípedos y cetáceos respectivamente. Recientemente, se han descrito nuevas especies que infectan ranas, manta rayas, peces, incluso una especie reportada solamente en humanos denominada *Brucella innopinata*. De estas, *B. melitensis*, *B. suis* y *B. abortus* son las que poseen mayor patogenicidad para las personas.

Para el 2018 la población mundial en condición de pobreza extrema representaba 650 millones de personas. De ellas, 500 millones (dependiendo de la fuente consultada) se dedican a actividades relacionadas a la agricultura y ganadería, y cuya principal fuente de proteína son los productos de sus animales. Estas personas, al contagiarse de brucelosis de sus animales, tienen dificultades para acceder a una buena educación y tener un buen desempeño laboral; al mismo tiempo tienen pérdidas económicas debido a la disminución de la productividad de sus animales.



La brucelosis en Costa Rica

Las especies de *Brucella* que se aíslan en Costa Rica son *B. abortus*, principalmente en bovinos y personas, *B. canis*, principalmente en perreras y *B. ceti*, en mamíferos marinos encallados. La brucelosis bovina fue descrita de forma clínica en el país a finales del siglo XIX. A inicios del siglo XX, con un registro de cerca de 350 000 bovinos, se reconoce oficialmente la presencia de la enfermedad de forma endémica en el país. El primer caso de brucelosis humana en Costa Rica fue reportado en 1915, y se estableció como enfermedad de declaración obligatoria ante el Ministerio de Salud, hasta la fecha.

Dado su potencial zoonótico, la brucelosis bovina es una enfermedad de declaración obligatoria ante la Organización

Mundial de Salud Animal y su vigilancia está a cargo del SENASA. El país cuenta con un programa de control y erradicación de la brucelosis bovina, desde el año 1950, con resultados que no han sido los esperados por diversas razones.

El PIET estudia la brucelosis desde los años 80, con un enfoque Una Salud, gracias a la consecución de fondos, tanto a nivel público como, por ejemplo: FEES, FIDA, MICITT, CYTED, Neotrópica, Unión Europea, como privado: Wellcome Trust, IFS, ICGBE, Florida Bebidas. Los estudios versan sobre modelos de infección, y se enfocan en las interacciones bacteria-hospedero. En colaboración con personas estudiantes de grado y posgrado de distintas universidades, personas investigadoras de otras latitudes, la UCR y el ITCR, se caracterizó el tráfico intracelular de *B. abortus* en células del sistema inmune: la bacteria ingresa de una forma "desapercibida", ajustando su metabolismo al nuevo medio intracelular hostil. Estudios realizados también en el PIET, indican que la regulación de expresión de genes es crucial para la adaptación de un ambiente extracelular a uno intracelular y la hipótesis del Caballo de Troya explica cómo las bacterias son capaces de infectar a las células de primera defensa del hospedero, los neutrófilos, inhibiendo su muerte programada cuando estas no controlan la infección. Estas células son reconocidas como extrañas por los macrófagos e inducen su fagocitosis. Así, las bacterias logran ingresar y sobrevivir dentro de las células del sistema inmune, con lo cual se genera una infección crónica.

Estos resultados generaron nuevas preguntas de investigación, relacionadas a los casos clínicos y los aislamientos bacterianos que reportan el personal de las entidades sanitarias de nuestro país. En colaboración con la UCR, el ITCR, la UNA, el SENASA, el INCIENSA, la CCSS, el INA, la Fundación Keto y el Instituto Sanger de la Fundación Wellcome Trust de Inglaterra, y el apoyo económico del FEES, FIDA, MICITT, se inicia un estudio para actualizar los datos sobre la prevalencia de anticuerpos contra la brucelosis en el país, mediante un muestreo, tanto de tipo activo como pasivo, desde los años 2012 al 2016. Cerca del 10 % de los hatos bovinos del país registran contacto con la bacteria, por lo que el SENASA se replantea su política de control y erradicación de la brucelosis. Mediante el esfuerzo en conjunto de las entidades participantes, se logra también generar una bacterioteca con aislamientos clínicos. Se describe por primera vez en el país, el aislamiento de *B. abortus* en búfalos de agua, un aislamiento

canino con características únicas en el ámbito mundial, y los primeros dos reportes de aislamientos humanos en dicho ámbito de la especie *Brucella neotomae*. A la fecha, se cuenta con más de 250 aislamientos de *B. abortus*, caracterizados bioquímica y genéticamente. Los resultados de análisis filogenético a partir de secuenciación de genoma completo se muestran de forma interactiva en <https://microreact.org/project/BJJ4H3H-E>. Estos aislamientos tienen más de un 97 % de similitud genómica entre sí, y sin embargo, se logran distinguir grupos (genotipos), que denominamos del I al V, con distribución geográfica específica en el país, excepto un subgrupo del genotipo I, que presenta la mayor cantidad de aislamientos humanos. Los principales hallazgos se resumen en el siguiente cuadro:

Genotipo	Principales hallazgos
I	Mayor representación y distribución en el país. Brote en faldas del volcán Irazú, años 2003-2005
II	Un único aislamiento de búfalo de agua, año 2018
III	Aislamientos tanto de bovinos como búfalos y humanos, años 2014-2018, zona norte
IV	Solo dos aislamientos de bovino, año 2010, zona de Cartago
V	Un único aislamiento humano, fecha desconocida

Fuente: elaboración propia

En las otras especies animales estudiadas no se encontró evidencia de la enfermedad en cabras y ovejas, su presencia en equinos y se caracterizó la distribución de la brucelosis canina en el país (<https://microreact.org/project/emYdMscq9>). Este último estudio alertó al SENASA sobre la detección de nuevos genotipos en el país introducidos recientemente. Dado que *B. canis* tiene potencial zoonótico, se evalúa la posibilidad de que la brucelosis canina sea una enfermedad de declaración obligatoria.

La brucelosis en la vida silvestre de Costa Rica

La brucelosis en animales de vida silvestre merece especial atención, pues la presencia de la enfermedad en estos animales representa una fuente continua de transmisión que debe ser vigilada. Costa Rica tiene una alta diversidad de mamíferos marinos, con encallamientos frecuentes en sus costas. El primer reporte de brucelosis marina en Costa Rica se realizó en el año 2008, en delfines encallados de la especie *Stenella coeroalba*. Desde entonces, se inició un esfuerzo conjunto de entidades como la ONG Fundación Keto, la UTN, la Universidad San Francisco de Asís, la UNA, el servicio de guardaparques, el SINAC, el Parque Marino del Pacífico, que, en coordinación con el SENASA, han logrado describir cerca de 10 especies de mamíferos marinos susceptibles a la enfermedad. Gracias a esta iniciativa, el SENASA, junto con el servicio 911, posee un protocolo de reporte de encallamiento de mamíferos marinos y junto con el ITCR se realizó una campaña de educación para aquellas poblaciones costeras y guardaparques que tienen contacto con este fenómeno. Este trabajo generó la descripción de un nuevo genotipo de *B. ceti*, único a nivel mundial, al que denominamos P1 y de otro similar a genotipos potencialmente zoonóticos (<https://microreact.org/project/xaQYldp96>).

Los estudios realizados en el PIET en el campo de la brucelosis por más de 40 años permiten colaboraciones con colegas de otras latitudes, caracterizando la distribución de la brucelosis ovina en Argentina, la descripción de aislamientos de *B. ceti* en el Mediterráneo y la generación de una patente para la elaboración de una vacuna que permita identificar a los animales infectados de los no infectados.

Caso estudio: Salmonella en Costa Rica

Salmonella entérica no tifoidea: un patógeno complejo con relevancia para la salud pública y animal

La salmonelosis es una de las principales causas de gastroenteritis bacteriana humana con una importancia crítica global, que causa la pérdida de alrededor de 33 millones de años de vida saludable al año (GBD, 2018), con un costo estimado de \$3600 millones. Tal cual punta del iceberg, la alta cifra de casos conocidos en el ámbito mundial representa solamente una fracción del número real debido al bajo reporte y confirmación laboratorial.

Salmonella es una enterobacteria bacilar flagelada Gram-negativa, estudiada ampliamente en el abordaje Una Salud, por su promiscuidad de hospederos animales y fácil transmisión fecal-oral al humano, a través del consumo de alimentos contaminados, y actividades ocupacionales que facilitan la infección por contacto directo con reservorios animales y ambientes contaminados. Se ha clasificado en dos especies, *S. bongori* y *S. enterica*; de la segunda se han reconocido seis subespecies; de ellas, la más importante *S. enterica* subespecie *enterica*. De acuerdo con el esquema de White-Kaufmann-LeMinor, las subespecies se dividen a su vez en >2570 serovares de los cuales solo unos pocos causan enfermedades regularmente en humanos y algunos se adaptan mejor a ciertas especies animales. Con base en el tipo de rango de hospederos, Salmonella se clasifica como generalista de hospederos, afecta a varias especies animales, incluidos los humanos, como *S. Typhimurium*; hospedero adaptado, que infecta a uno o pocos hospederos como *S. Dublin* en ganado y humanos; y hospedero restringido asociado a una sola especie, como *S. Typhi* y *Paratyphi* en humanos, causantes de la fiebre tifoidea.

Las personas colonizadas con Salmonella pueden presentar manifestaciones variables de la enfermedad, que van desde la colonización asintomática hasta infecciones sistémicas graves, incluidas bacteriemia y meningitis, especialmente en niños menores de cinco años, ancianos e individuos inmunocomprometidos. Suelen observarse infecciones autolimitadas sin necesidad de tratamiento médico; sin embargo, algunos casos progresan a infecciones graves que requieren terapia antibiótica. Es ahí

donde el panorama se complica debido a que la efectividad de los tratamientos se ve limitada por la resistencia antimicrobiana, lo que disminuye las opciones de tratamiento y aumenta significativamente el costo relacionado con estas infecciones. En Costa Rica, desde el año 2003 se estableció la salmonelosis como enfermedad de notificación obligatoria (Decreto Ejecutivo N.º 30945-S). Según el INCIENSA, en los últimos 20 años se ha registrado un aumento en la referencia de aislamientos de *Salmonella* por parte de los diferentes laboratorios clínicos del país, así como un incremento en el reporte de casos de salmonelosis asociados al consumo de alimentos contaminados y al contacto con animales de granja y mascotas. En el 2005 se documentó un total de 23 brotes de diarrea e intoxicaciones alimentarias con alrededor de 819 personas afectadas; brotes de gran magnitud se vincularon a *S. Weltevreden* y *Newport*. Entre el periodo 2010-2013, *S. Typhimurium*, *S. Enteritidis*, *S. Panama*, *S. Weltevreden*, *S. Javiana* y *S. I 4, [5], 12:i:* fueron frecuentemente aisladas en casos humanos y alimentos de origen animal. En el último quinquenio se determinó una tasa de notificación de 200 casos de salmonelosis por cada 100 000 habitantes, con lo cual se lograron identificar 41 serovariedades de importancia, siendo *S. Enteritidis*, *S. Typhimurium* y la variante *S. I 1, 4, [5], 12:i:* las de mayor frecuencia (INCIENSA, 2020).

La casuística en humanos está vinculada al papel que juegan los animales de abasto como reservorios de *Salmonella*, transmitida principalmente a través del consumo de alimentos contaminados como matrices crudas de pollo, cerdo, res, derivados como embutidos, carne molida, productos lácteos no pasteurizados, entre otros, y por contaminación cruzada. Asimismo, se ha evidenciado que aislamientos recuperados de animales que experimentan la enfermedad clínica tienen más probabilidades de ser multirresistentes que los recuperados de infectados de forma subclínica y que los serovares frecuentemente asociados con infecciones clínicas en animales, como *S. Newport*, *Typhimurium* e *Infantis*, también se identifican con frecuencia en infecciones clínicas en humanos. Por el contrario, serovares recuperados con frecuencia de animales sanos son causas menos comunes de enfermedades en las personas. Entre pares animales con alta proximidad existe un círculo de infección y reinfección con la eliminación de *Salmonella* durante períodos prolongados, la cual genera a la vez una importante contaminación ambiental que aumenta

el riesgo de transmisión a humanos dentro de las producciones pecuarias. La epidemiología de *Salmonella* en el sector agropecuario nacional es compleja y varios determinantes influyen en la exacerbación de su eliminación fecal, incluido el estado de salud, la edad, el estrés, y el desequilibrio nutricional. Por ejemplo, animales enfermos o de descarte y hembras en periparto son más propensos a eliminar *Salmonella*, y se ha observado que, en condiciones de estrés, sus funciones fisiológicas e inmunológicas normales se deterioran y el comportamiento se altera. Esto afecta el rendimiento general, produciendo disbiosis en la flora intestinal y beneficiando la colonización y diseminación de *Salmonella* al ambiente, a otros animales y a sus subproductos. Se ha demostrado que la privación de alimento y agua relacionada con el transporte a las instalaciones de sacrificio afecta la fisiología ruminal y la capacidad de controlar enteropatógenos como *Salmonella*, aunado a un aumento de los movimientos peristálticos, por lo que hay un mayor volumen de heces excretadas al ambiente. Por lo tanto, los brotes de salmonelosis en los animales de abasto tienen un impacto en la inocuidad, en la sanidad y en el ecosistema.

Considerando el paradigma de Una Salud, y conociendo la carencia de información del estado de *Salmonella* en las diferentes producciones animales de Costa Rica, a partir del 2017 el PIET, desde el Laboratorio de Salud Pública y Alimentos, ha venido gestando un estado del arte con investigaciones epidemiológicas enfocadas en determinar la prevalencia, caracterización genómica y resistencia antimicrobiana de *Salmonella* en producciones animales primarias, plantas de faenado, alimentos para la venta, ambiente, especies silvestres y su asociación con la casuística de brotes humanos. Estas investigaciones se han logrado con el apoyo de otros laboratorios adscritos al PIET, al Programa de Medicina Poblacional-UNA y alianzas interinstitucionales con entes estatales como SENASA, INCIENSA, universidades públicas (UCR, ITCR, UTN), entes internacionales cooperantes (Wellcome Trust, Inglaterra; The Ohio State University, USA) y el sector privado (cámaras de productores, plantas faenadoras). Asimismo, desde el Laboratorio de Bacteriología se ha colaborado con la venta de servicios diagnósticos veterinarios y del monitoreo de *Salmonella* bajo el marco de vigilancia de la RAM como plan integrado de contingencia nacional (ver arriba 2. Caso estudio: Resistencia a los antimicrobianos bajo el abordaje Una Salud).

En la cadena agroalimentaria, estas investigaciones evidencian una alta prevalencia de *S. enterica* en animales de abasto como pollos de engorde (63 %), terneros (67 %) y cerdos (46 %), determinada por muestreos realizados en plantas de proceso y puntos de venta de cárnicos para consumo humano, y con serovares dominantes como *S. Infantis* y *S. Typhimurium*. Asimismo, pero en menor frecuencia, se ha recuperado de tejidos utilizados en la manufactura de subproductos cárnicos como linfonodos prefemorales de bovinos jóvenes (6 %) incorporados en la producción de carne molida y linfonodos parotídeos de cerdos (8.3 %). Un alto porcentaje de estos aislamientos fueron caracterizados con perfiles de multirresistencia a antibióticos, lo cual representa una seria amenaza para la salud pública, incluida la resistencia a fluoroquinolonas y cefalosporinas de tercera y cuarta generación, catalogados como de "importancia crítica y máxima prioridad" y usados para el tratamiento de infecciones invasivas o en pacientes inmunocomprometidos.

Para profundizar la caracterización de *Salmonella* desde la integración de entes rectores y bajo el enfoque holístico de Una Salud, el PIET ha llevado a cabo estudios de secuenciación del genoma completo de *Salmonella* por medio del uso de tecnologías de última generación, integrando la cooperación interinstitucional (<https://microreact.org/project/rMjwcrq3TWWWVHoLQk-5f5ve>). Esta iniciativa en particular recibió financiamiento inicial del Instituto Sanger de Inglaterra, y fue posteriormente apoyada con fondos del CONARE. Como resultado se fortalecieron las capacidades de análisis bioinformático a escala nacional en el Centro Nacional de Alta Tecnología, de modo que se habilitó para el país el programa ASGARD-SAGA para análisis de secuencias de *Salmonella*, disponible para investigadores nacionales y entidades públicas. Así, se dio la apertura en el ámbito nacional para el análisis que había estado dependiente del uso de plataformas internacionales, por lo que se fortaleció la capacidad país para este tipo de estudios.

Debido a la complejidad de la salmonelosis, el PIET ha hecho grandes esfuerzos de concientizar a los actores principales para hacer un abordaje holístico desde diversas trincheras. Los resultados obtenidos en las investigaciones se han externado a profesionales veterinarios desempeñados en finca y en plantas de faenado, especialistas en salud humana, productores, industria, técnicos agropecuarios y oficiales estatales con el fin de crear

conciencia en la importancia de buenas prácticas y medidas de bioseguridad preventivas contra la diseminación de *Salmonella*, en el fortalecimiento de la vigilancia activa y en la construcción de programas orientados en el uso racional de antibióticos para seres humanos y de producciones primarias como herramienta de contención. Es así como por medio de la integración y no la segmentación se ha logrado avanzar en el abordaje de esta problemática bajo el enfoque Una Salud.

Caso estudio: Resistencia a los antimicrobianos bajo el abordaje Una Salud

Los antimicrobianos son medicamentos que se utilizan para prevenir y tratar infecciones en los seres humanos, los animales y las plantas. Entre estos medicamentos se encuentran los antibióticos, los antivirales, los antimicóticos y los antiparasitarios. La resistencia a los antimicrobianos (RAM) surge cuando las bacterias, los virus, los hongos y los parásitos dejan de responder a estos medicamentos. Cuando los antimicrobianos se vuelven ineficaces contra los microorganismos, se dificulta o imposibilita el tratamiento de infecciones, se incrementa el riesgo de propagación y, consecuentemente, se da un aumento en la mortalidad.

La RAM se considera actualmente un problema de salud pública mundial. Debido a que los antimicrobianos se utilizan en múltiples ámbitos, este problema se relaciona y tiene un impacto con los seres humanos, los animales y el ambiente. Debido a esto, la atención de la RAM requiere un enfoque multidisciplinario, multisectorial y coordinado que permita abordar las amenazas para la salud en la interfaz humano-animal-medio ambiente bajo el concepto UNA SALUD.

Autoridades mundiales del área de la salud han declarado a la RAM como una importante amenaza para la salud del siglo XXI. Estas autoridades reafirman que, para atender esta problemática, se necesitan esfuerzos coordinados e interdisciplinarios porque en la adquisición, emergencia y distribución de la RAM participan diferentes ecosistemas. La literatura actual apunta a que la aparición de la RAM y la dinámica de transmisión de los

patógenos resistentes apuntan a una colaboración inminente de múltiples profesionales en la mitigación de la RAM global.

Algunos factores socioeconómicos como el comercio mundial, los conflictos sociales, los viajes y la migración humana y animal, son importantes impulsores de la difusión global de la RAM. A niveles más locales, se considera que los ecosistemas geográficamente cercanos juegan un papel decisivo en la aparición y distribución de la RAM. Entre las principales causas para la propagación local y global de la RAM se encuentran el uso inadecuado e irracional de los antibióticos en los humanos y los animales, la contaminación del ambiente, así como falta de políticas de control de infecciones eficaces.

El PIET ha participado en el desarrollo de proyectos que contribuyen al entendimiento de este problema en Costa Rica desde el enfoque UNA SALUD.

La vigilancia de la RAM en los animales de producción tiene un interés inmediato para los seres humanos debido a que, por el consumo de proteínas de origen animal, se podrían transmitir bacterias o genes de resistencia a las personas. Para contribuir con el entendimiento de esta temática, el Laboratorio de Bacteriología, PIET, en conjunto con el SENASA, realiza la vigilancia de la RAM en tres géneros bacterianos de interés, *Salmonella* sp., *Escherichia coli* y *Enterococcus* sp. Estas bacterias se utilizan como indicadores de resistencia y se aíslan del intestino de aves, bovinos, suinos y peces a nivel de planta de cosecha. La información que genera esta vigilancia permite a las autoridades sanitarias del sector pecuario, tomar decisiones que mejoren el uso prudente de los antibióticos en estos sistemas productivos. También se han desarrollado proyectos de investigación dirigidos a distintos animales de producción que permiten obtener los perfiles de resistencia en *Salmonella* en bovinos lecheros, terneros, pollos de engorde, búfalos y cerdos con diversos resultados, así como en aislamientos obtenidos a partir de vacas con mastitis en varias partes del país.

Tal y como se mencionó anteriormente, la presencia de bacterias resistentes o sus mecanismos de resistencia en los animales, pueden ser transmitidos a los seres humanos; sin embargo, esto puede ocurrir en ambos sentidos, o sea que los humanos transmitimos bacterias resistentes a los animales. Una investigación realizada en perros domésticos del área metropolitana evidenció que, aunque algunos de los animales del estudio nunca

habían sido tratados con antibióticos, estos eran portadores de una alta cantidad de bacterias resistentes a los antibióticos. En congruencia con muchas publicaciones, esto sugiere que los seres humanos podríamos ser también responsables de transmitir bacterias resistentes a nuestras mascotas.

Adicionalmente, se ha observado que el contacto cercano y frecuente entre los seres humanos y los animales domésticos se ha asociado con un riesgo aumentado de tener bacterias resistentes para los seres humanos. En un estudio en la Escuela de Veterinaria, se evidenció que, en las superficies en las que hay un contacto frecuente entre personas y animales (como los hospitales de animales), se incrementa la presencia de *Staphylococcus aureus* resistentes a múltiples antibióticos. Adicionalmente se evidenció en otro estudio, que las personas que atienden y trabajan directamente con animales, eran portadoras de *S. aureus* más resistentes que aquellos estudiantes y funcionarios que no lo hacían. Estos estudios demuestran que es necesario considerar el vínculo entre seres humanos y animales cuando se estudia el tema de la RAM.

La literatura científica muestra que los animales silvestres no son ajenos a esta problemática, probablemente por la cercanía de algunos de estos con las actividades humanas u otros animales domésticos. Con esta idea en mente, se realizó un estudio en dantas que habitan en áreas protegidas. El estudio evidenció que estos animales no eran portadores de bacterias resistentes. Este estudio sugiere que estos animales viven en un ecosistema suficientemente alejado de actividades humanas y de otros animales que podrían generar el aumento de la RAM en las bacterias de estos animales. Sin embargo, también hicimos el reporte de una danta que era portadora de una bacteria muy resistente. A diferencia de las otras dantas, esta estaba en cautiverio y vivía en un entorno con alto contacto con seres humanos y otros animales, lo cual refuerza la hipótesis de que la cercanía con las actividades humanas promueve el surgimiento de la RAM. Una evidencia similar observamos en otro estudio realizado en mapaches, donde aislamientos de *Salmonella* sp. presentaron resistencia a ciertos antibióticos. Adicionalmente hemos observado presencia de resistencia contra ciertos grupos de antibióticos (utilizados principalmente en acuicultura) en aislamientos de *E. coli* obtenidos a partir de cocodrilos que viven en el mismo ecosistema circundante de estas producciones acuícolas.

Estos estudios permiten evidenciar que la RAM tiene un claro impacto en la interfaz humano-animal-medio ambiente, y que Costa Rica no es ajeno a esta problemática. Por ende, la única forma de entenderlo para mitigar su impacto es si esta problemática se estudia bajo el concepto de UNA SALUD.

Caso estudio: Encefalitis virales de naturaleza zoonótica en Costa Rica: Infecciones arbovirales (en- cefalitis equina del este, encefalitis equina del oeste, encefalitis equina venezolana, en- cefalitis del Nilo Occidental y encefalitis del virus de San Luis) en caballos de Costa Rica

Los agentes virales son de los agentes de mayor importancia en la salud pública, por su impacto directo en el ámbito local y global dadas sus características epidemiológicas. Arbovirus de los géneros *Alfavirus* (Togaviridae) y *Flavivirus* (Flaviviridae), son endémicos en gran parte del continente americano y ocasionan brotes que son regulados por las estaciones y por la cantidad de reservorios y vectores. En Costa Rica, al igual que otras regiones, estos brotes tienden a ser recurrentes, sin embargo, algunos de estos agentes no habían sido estudiados a profundidad en el medio local.

Los alfavirus son comunes en América del Norte, Central y del Sur. El VNO (Virus del Nilo Occidental) está presente en Europa, Asia, África y, desde 1999, en América, en tanto que el VESL (*Encefalitis equina del este*) es originario de América y está presente en todo el continente. Estos virus son endémicos en la región mesoamericana y su aparición local está regulada estacionalmente y por la cantidad de vectores (mosquitos) y reservorios (principalmente aves y roedores). El diagnóstico de las infecciones por arbovirus con tropismo por el sistema nervioso central se realiza durante la fase aguda de la enfermedad, principalmente mediante la detección de anticuerpos IgM específicos a los agentes con la técnica inmunoenzimática o ELISA, aislamiento viral en cultivo celular o animales de laboratorio y amplificación enzimática del

genoma viral o PCR y sus modificaciones. Los estudios cero-epidemiológicos para detección de IgG se realizan mediante ELISA o PRNT (test de neutralización por reducción de placas), esta última es considerada el estándar dorado.

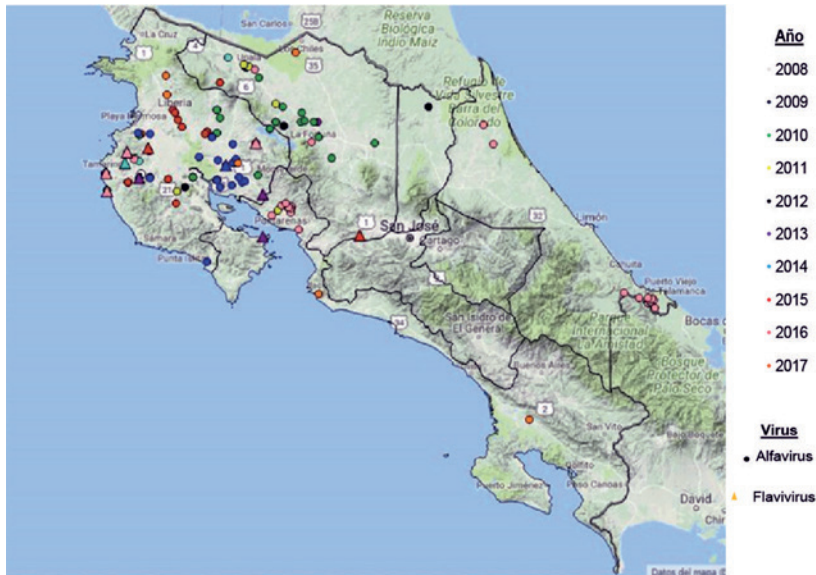
Encefalitis virales en Costa Rica

Los primeros estudios que describieron la presencia, tanto en personas como en caballos, de anticuerpos al VEEV (encefalitis venezolana), subtipo I-E, fueron realizados por Martins *et al.* (1972). Los mismos autores aislaron VEEV del subtipo I-B en muestras colectadas de 20 equinos, cuatro humanos y dos especies de mosquitos (*Deinocerites pseudus*, *Aedes taeniorhynchus*). Posteriormente, Fuentes reportó el aislamiento y caracterización de varias cepas de VEEV (1973). Por otra parte, la primera evidencia serológica de VNO en Costa Rica se encontró en caballos en 2004. No hay registro de infecciones con VESL (encefalitis de San Luis) en equinos de nuestro país hasta la fecha. Para el año 2020, nuestro laboratorio en cooperación con la Universidad de Texas reportó por primera vez la presencia de anticuerpos neutralizantes al virus de la estomatitis vesicular serotipo New Jersey, en un banco de datos de primates del nuevo mundo (*Alloatta palliata*).

El estudio de este agente viral zoonótico es complejo, dado su continuo epidemiológico, incluyendo vectores artrópodos, vertebrados silvestres que forman parte de su ciclo selvático y la interfaz entre el bosque y los sistemas de producción local (caballos de trabajo en campo). El abordaje Una Salud es el ideal para este tipo de agentes y las enfermedades que producen y es el utilizado en el laboratorio de Virología del PIET para tratar de entender esta enfermedad.

En el período de estudio, 2009 a 2020, se investigaron un total de 398 brotes de enfermedad neurológica en caballos y se analizaron un total de 597 muestras de suero mediante ELISA de captura de IgM, resultando en el diagnóstico de 12 casos de VEEE, 164 casos de VEEV, 39 casos de WNV y 6 casos del VESL. Para estos brotes se colectaron muestras clínicas de caballos que se analizaron utilizando ELISA y seroneutralización (PRNT). Adicionalmente, información de variables previamente identificadas fueron usadas para la generación de modelos de reconocimiento de factores de riesgo asociados a esta enfermedad en caballos.

Figura 1.
Distribución geográfica y temporal de los casos positivos
al ELISA de captura de IgM (2008-2017).



Fuente: Mapa elaborado por el Dr. Mario Romero Vega.

Este brote permitió diseñar un estudio de seroprevalencia de estos agentes a escala nacional en colaboración con el SENA-SA. Esta investigación tenía como objetivo el poder detectar por medio de IgG y PNRT80 casos positivos a estos agentes virales. El diseño de rangos de altura (0-900 ->901 mslm) y un total de 81 cantones en todo el país. Un total de tres caballos sin registro vacunal por cantón fueron seleccionados y una muestra de suero fue almacenada (n=243). En la población estudiada (n=215), el equipo de investigadores identificó 87 sueros positivos (40 %) y 128 negativos para VEEV, 32 sueros positivos (15 %) y 183 negativos a VEEE. Adicionalmente, el análisis, mediante PRNT80 a 217 muestras, reflejó 78 positivas (36 %) y 139 negativas a VEEV, seis positivas (3 %) y 211 negativas a VEEE. Estos resultados demostraron que, en Costa Rica, la seroprevalencia a VEEV resultó 1,5 veces mayor en las tierras bajas que en las altas y la precipitación pluvial y la altitud se asociaron con la seropositividad al VEEV en el análisis univariante, pero solo la altitud <100 metros sobre el nivel del mar se consideró un factor de riesgo en el análisis multivariante (León *et al.* 2020).

Para entender las diferencias en los resultados relacionados a la distribución de los resultados de positividad, se procedió a generar un modelo probabilístico, MaxEnt, donde un total de 188 registros de presencia del VEEV, y 20 variables (19 bio-climatológicas más la altitud) fueron utilizadas para determinar posibles nichos para este agente. Las variables con mayor contribución al modelo fueron Bio11 (temperatura media del trimestre más frío) 32,5 %, Bio17 (precipitación del trimestre más seco) 16,9 %, Bio2 (temperatura media anual) 15,1 %, altitud (m.s.n.m.), 6,6 %, y Bio18 (precipitación del trimestre más cálido) 6,2 % (León *et al.* 2021).

El abordaje clínico, espacial y uso de modelos, permitió agregar conocimiento sobre la eco-epidemiología de estos agentes virales, sin embargo, para una mejor comprensión, es necesario entender la epidemiología-molecular de estos virus, por esa razón, el equipo de investigación procedió con el análisis filogenético y entender sus relaciones evolutivas entre cepas virales presentes en Costa Rica. Esta investigación se dirigió a reconstruir la filogenia y el reloj molecular de las secuencias del complejo del subtipo I del VEEV y a identificar las mutaciones dentro de las secuencias pertenecientes a los subtipos epizooticos o enzoóticos, con lo cual se centró en una secuencia aislada de una yegua en Costa Rica (León, B. *et al.* 2022). Se analizó la filogenia bayesiana del árbol del complejo del subtipo I del VEEV con 110 genomas completos del VEEV y se analizó la evidencia de selección positiva con los algoritmos del servidor Data Monkey. Finalmente, se evaluaron los posibles efectos de las mutaciones en la estructura proteica 3D de la secuencia de Costa Rica. Se obtuvo una secuencia de genoma completo de un virus de la encefalitis equina venezolana subtipo I E a partir del cerebro de una yegua con encefalitis grave. El análisis histopatológico confirmó hallazgos característicos de encefalitis viral y la secuencia obtenida se agrupó en el clúster del Pacífico. El análisis filogenético mostró que el subtipo IE-VEEV divergió antes que otros subtipos, los ancestros costarricenses del VEEV-IE procedían de Nicaragua en 1963 y de Guatemala en 1907. Catorce mutaciones localizadas en los genes NSP3, E1 y E2 son únicas en esta secuencia, con lo cual destaca la importancia de los genes E1-E2 en la evolución del VEEV.

Un alto porcentaje de los casos de caballos con clínica nerviosa en este estudio se asoció con algún arbovirus neuropatógeno y el más frecuente fue el VEEV y VON seguidos por VEEE y VESL.

No obstante, el alto porcentaje de casos no asociados con arbovirus (63 %) obliga a incluir, en futuros estudios, otros agentes como Herpesvirus, Bornavirus, virus de la anemia infecciosa equina, hemoparásitos e intoxicaciones. Por lo tanto, la investigación debe centrarse en la zona ecológica, el clima, la ecoepidemiología y el papel de la inmunidad a las cepas endémicas, las vacunas y la edad en la presentación de los casos clínicos.

Este estudio con un abordaje Una Salud, donde los elementos de cooperación interinstitucional, incorporación de diferentes disciplinas, desde el área de diagnóstico hasta el análisis cuantitativo de datos, contribuye a entender y aportar conocimiento relacionado a estas encefalitis de carácter zoonótico que, de alguna manera, han sido desatendidas por los sistemas de salud.

Caso estudio: Los mapaches y sus agentes zoonóticos en ambientes urbanos de Costa Rica

Este es otro ejemplo del abordaje Una Salud, para entender el rol de los animales silvestres como potenciales diseminadores de zoonosis, reservorios y centinelas, en lo que se define como el *continuum epidemiológico*. La tesis que identifica al animal reservorio, clásicamente se ha definido como aquella comunidad o grupo de animales que pueden albergar asintóticamente un agente infeccioso y alguno zoonótico. Sin embargo, este concepto es más complejo en su definición, y da pie a lo que se define como el *continuum epidemiológico*. Este nuevo concepto engloba una serie de interacciones entre diversas comunidades de vertebrados, vectores, elementos abióticos y su ambiente, que permiten el mantenimiento de un agente zoonótico en el ambiente, para más detalle refiérase a Haydon *et al.* y Viana *et al.* (Haydon *et al.*, 2002; Viana *et al.*, 2014). Por lo tanto, tratar de entender aquellas enfermedades que tienen un componente en la vida silvestre es muchas veces un reto. Por ejemplo, el virus del ébola, causante de brotes de fiebre hemorrágica en habitantes de zonas subsaharianas, ha demostrado tener un complejo ciclo de vida entre murciélagos; sin embargo, en este *continuum epidemiológico* se entrelaza esta comunidad de vertebrados

voladores, con otras comunidades de ungulados y primates no humanos, con lo cual se aumenta la complejidad del ciclo y la transmisión de este virus. El contacto directo entre estas especies silvestres y el consumo de carne (carne de monte), propicia la transmisión del virus a poblaciones de humanos susceptibles. Más recientemente este continuo epidemiológico ha cambiado, al punto que ahora este virus tiene un ciclo de transmisión entre humanos, donde las comunidades humanas pueden actuar como reservorio del virus, y de este modo aumentar el número de casos (R_0). Este es un ejemplo clásico de interacción entre la vida silvestre, el medio ambiente y el contacto humano. Esta interfaz promueve la aparición de agentes infecciosos emergentes o reemergentes, que impactan negativamente la salud humana, animal y la conservación de especies y, dada su alta complejidad, el abordaje profiláctico efectivo de estos agentes infecciosos es limitado. Sin embargo, hay otros escenarios que han ido tomando relevancia en el estudio de zoonosis y donde el abordaje Una Salud es fundamental. Hacemos referencia a los ambientes urbanos, en especial en áreas donde la riqueza de biodiversidad está presente, como es el caso de los trópicos. Estos ambientes tienden a ser igual o más complejos que las selvas mismas, por la estructura de las comunidades que coexisten, tipo de ambiente (urbanización-áreas verdes, etc.), comportamiento humano y las interacciones entre comunidades de vertebrados y los humanos a diferentes niveles.

Han *et al.* describe la relevancia de algunos taxones como de importancia en ambientes urbanos a considerar como potenciales reservorios de agentes zoonóticos (micro-macro parásitos), siendo el de carnívoros uno de la mayor relevancia (> 150 agentes zoonóticos reportados). Recientemente, Gibb *et al.* propuso que los hospederos efectivos más probables persisten en aquellos ecosistemas alterados debido a comportamientos y características de plasticidad en que les permiten su persistencia en ambientes alterados (urbanos) y por consiguiente, la de los agentes infecciosos que albergan.

El abordaje Una Salud en ambientes urbanos es, por lo tanto, una herramienta fundamental para integrar conocimientos de varias disciplinas científicas e intentar desentrañar el comportamiento epidemiológico de estos agentes zoonóticos. Desde este abordaje, el PIET ha logrado con éxito integrar estas disciplinas para enriquecer el conocimiento relacionado con este

tipo de agentes en Costa Rica: el estudio de agentes zoonóticos en una población de mapaches urbanos es un ejemplo de un caso de estudio.

Mapaches (*Procyon lotor*), es una especie de carnívoro meso depredador del grupo de los prociónidos, especie ampliamente distribuida en América del Norte y Mesoamérica. Este carnívoro está bien adaptado a los ambientes urbanos, en especial, en grandes urbes de las zonas templadas, inclusive clasificado como vertebrado invasor en algunos países de Asia y Europa.

Los mapaches son omnívoros que pueden habitar una gran variedad de ecosistemas, pero siempre están asociados a cuerpos de agua o a sistemas riparios. Sin embargo, por sus características naturales (fisiología, anatomía, social-ecología) poseen una gran plasticidad que les confiere un manejo adaptativo superior a otras especies, capaces de colonizar u ocupar áreas y hacer uso de recursos antropogénicos.

El caso de Costa Rica, posiblemente, es el primer caso donde el conflicto con mapaches en ambientes urbanos tropicales se ha reportado (~15 años), sin embargo, dadas las características ambientales y urbanísticas hace de Costa Rica un caso particular en Mesoamérica. Para entender el conflicto y las consecuencias asociadas con la salud pública y animal, realizamos un abordaje Una Salud. Los aspectos antropológicos asociados con el dilucidar la percepción de las comunidades con esta especie, fueron abordadas con el concepto de dimensiones humanas. Encuestas en zonas afectadas brindaron la primera información del nivel de conflicto y cuáles eran las posibles variables asociadas con esta interacción y con el riesgo asociado a potenciales agentes infecciosos. Por ejemplo, el tipo de interacciones se asocia con un alto porcentaje al uso de estructuras de casas y edificios para refugios o lugares para cría (25 %). Un 23 % de los encuestados reportaron interacción con basura (como fuentes de alimento), y otras interacciones varias con animales domésticos, destrucción de infraestructura. Estos dos parámetros reflejan aspectos relevantes asociados con el tipo de urbanismo desarrollado en el país desde los años 70, donde la planificación de las zonas urbanas es ausente, sin ningún patrón establecido. El segundo aspecto tiene que ver con el material y tipo de infraestructuras, que son particulares para Costa Rica, casas sin espacios entre ellas y con techos pegados unos a otros, con lo cual se permiten amplias

áreas de movimiento para esta especie (movimiento entre casas y accesos fáciles a cielorrasos).

Para entender aún más este nivel de conflicto se generaron modelos probabilísticos para conocer cuáles son las áreas más propensas a sufrir de este tipo de conflicto; usando modelos de ocurrencia, logramos crear un mapa de conflicto donde los tres posibles escenarios fueron generados (bajo, medio y alto); en todos los escenarios un valor de 0.6 a fue registrado en los tres modelos. Esto sugiere que estas áreas deben estar bajo un mayor nivel de vigilancia por parte de las autoridades encargadas de la vida silvestre en el GAM.

La densidad de mapaches, un parámetro clave, se podía estimar para algunas áreas de conflicto. Para ello, se aplicó un abordaje de ecología, por medio de uso de cámaras trampa, que registraron el nivel de ocurrencia de la especie, con registro por imágenes para posterior análisis. Los modelos de probabilísticos de nivel de ocurrencia de la especie mostraron una alta relación entre la presencia de asentamientos humanos y la presencia aumentada de mapaches, con valores de 0.75 a 1.

La presencia de agentes infecciosos de importancia para la salud pública en estos animales también se estudió. Para ello se seleccionaron aquellos agentes infecciosos mantenidos bajo monitoreo en la población humana, así como agentes patógenos no reportados en esta población en Costa Rica. Muestras biológicas colectadas de animales en áreas seleccionadas fueron evaluadas para determinar la presencia de bacterias zoonóticas (*Salmonella*, *Leptospira*), los virus de rabia y el parásito *Baylisascaris procyonis*. Resultados positivos para todos los agentes, excepto para el virus de rabia, fueron demostrados. Mapas de riesgo y cuantificación de tipos de serovariedades, y genotipos fueron determinados en el caso de *Salmonella*. Adicionalmente se determinó la presencia de resistencia antimicrobiana. En el caso de *Leptospira*, se determinó heterogeneidad de serovariables, ilustrando el riesgo existente para la salud pública. *Baylisascaris procyonis* fue por primera vez establecido como una especie de parásito donde su rango de distribución se extendió hasta un nuevo límite en Costa Rica, alertando sobre el riesgo zoonótico en personas susceptibles como niños y adultos mayores.

El abordaje Salud permitió determinar la relevancia de la especie *Procyon lotor* (mapache) en las ciudades del área metropolitana de Costa Rica, donde aspectos sociales, biológicos, clínicos,

espaciales y de diagnóstico han demostrado que la ecoepidemiología de estos agentes infecciosos es compleja en especies silvestres en áreas urbanas. Adicionalmente, ilustra que este abordaje permite determinar qué especies podrían ser de importancia para futuros programas de monitoreo de agentes infecciosos, y qué especies pueden figurar como especies centinelas para el monitoreo de ciertos agentes infecciosos de importancia en la salud animal y humana.

Epílogo

Como se mencionó en la introducción, Costa Rica se encuentra en una región tropical, favorecida por una inmensa biodiversidad. Esta condición coloca al país en un “punto caliente emergente”: una zona del planeta donde existe una probabilidad significativa de que una enfermedad infecciosa sea emergente. A la vez, se estima que un 60 % de estas enfermedades tienen un origen zoonótico. Y, sin embargo, existe una situación de desigualdad en cuanto al acceso de conocimiento sobre las enfermedades zoonóticas y las emergentes, pues la mayor cantidad de esfuerzos para combatirlas se realizan en los países donde la posibilidad de que ocurran es baja. El mayor impacto en el combate de las enfermedades infecciosas se produce cuando el conocimiento sobre estas se genera en el propio país y es aplicado para la toma de decisiones a nivel político, sin dejar a nadie fuera de las acciones planificadas.

Los casos expuestos en este capítulo demuestran los alcances que el PIET logra mediante un abordaje Una Salud, por lo tanto, es posible alcanzar la cooperación entre sectores (productores, academia, autoridades, entes públicos y privados), con igualdad de participación), y que cada uno aporte desde su experiencia. Hemos buscado con este abordaje un equilibrio socio-ecológico, interdisciplinario y transdisciplinario que consideramos aporta en la comprensión de la ecoepidemiología de agentes infecciosos de interés, además de ilustrar cómo esta forma de trabajo favorece el bienestar de los seres vivos y del ambiente que compartimos en concordancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Bibliografía

- Baldi, M., Alvarado, G., Smith, S., Santoro, M., Bolaños, N., Jiménez, C., Hutter, S. E. y Walzer, C. (2016). Baylisascaris procyonis Parasites in Raccoons, Costa Rica, 2014. *Emerging Infectious Diseases*, 22(8), 1502-1503. <https://doi.org/10.3201/eid2208.151627>
- Baldi, M., Barquero Calvo, E., Hutter, S. E. y Walzer, C. (2019). Salmonellosis detection and evidence of antibiotic resistance in an urban raccoon population in a highly populated area, Costa Rica. *Zoonoses and Public Health*, 66(7), 852-860. <https://doi.org/10.1111/zph.12635>
- Baldi, M., Hernández-Mora, G., Jiménez, C., Hutter, S. E., Alfaro, A. y Walzer, C. (2019). Leptospira Seroprevalence Detection and Rabies Virus Absence in an Urban Raccoon (Procyon lotor) Population in a Highly Populated Area, Costa Rica. *Vector Borne and Zoonotic Diseases (Larchmont, N.Y.)*, 19(12), 889-895. <https://doi.org/10.1089/vbz.2019.2444>
- Chancey, C., Grinev, A. Volkova, E., and Rios, M. (2015). The Global Ecology and Epidemiology of West Nile Virus. Hindawi Publishing Corporation. *BioMed Research*.
- Deem, S. L., Lane-deGraaf, K. E. y Rayhel, E. A. (2019). Introduction to one health: An interdisciplinary approach to planetary health. John Wiley & Sons, Incorporated.
- GBD. (2018). DALYs and HALE Collaborators. Global, regional, and national disability-adjusted life-years (DALYs) for 359 diseases and injuries and healthy life expectancy (HALE) for 195 countries and territories, 1990-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *Lancet*. 2018 Nov 10; 392 (10159): 1859-1922. doi: 10.1016/S0140-6736(18)32335-3. Erratum in: *Lancet*. 2019 Jun 22; 393(10190): e44. PMID: 30415748; PMCID: PMC6252083.
- Gibb, R., Redding, D. W., Chin, K. Q., Donnelly, C. A., Blackburn, T. M., Newbold, T. y Jones, K. E. (2020). Zoonotic host diversity increases in human-dominated ecosystems. *Nature*, 584(7821), 398-402. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2562-8>.
- Han, B. A., Kramer, A. M. y Drake, J. M. (2016). Global Patterns of Zoonotic Disease in Mammals. *Trends in Parasitology*, 32(7), 565-577. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2016.04.007>

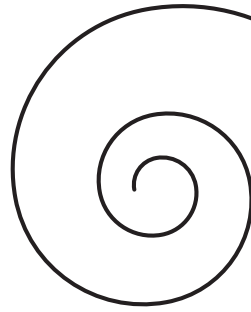
- Hassell, J. M., Begon, M., Ward, M. J. y Fèvre, E. M. (2017). Urbanization and Disease Emergence: Dynamics at the Wildlife-Livestock-Human Interface. *Trends in Ecology & Evolution*, 32(1), 55–67. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.09.012>
- Haydon, D. T., Cleaveland, S., Taylor, L. H. y Laurenson, M. K. (2002). Identifying reservoirs of infection: A conceptual and practical challenge. *Emerging Infectious Diseases*, 8(12), 1468-1473. <https://doi.org/10.3201/eid0812.010317>
- Hernández-Mora, G., Ruiz-Villalobos, N., Bonilla-Montoya, R., Romero-Zúñiga, J.-J., Jiménez-Arias, J., González-Barrientos, R., Barquero-Calvo, E., Chacón-Díaz, C., Rojas, N., Chaves-Olarte, E., Guzmán-Verri, C., & Moreno, E. (2017). Epidemiology of bovine brucellosis in Costa Rica: Lessons learned from failures in the control of the disease. *PloS One*, 12(8), e0182380. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182380>
- Hernando-Amado S., Coque T. M., Barquero F., Martínez J. L. Defining and combating antibiotic resistance from One Health and Global Health perspectives. *Nature Microbiology*. 2019 [accessed 2022 Jul 29]; 4(9): 1432-1442. <https://www.nature.com/articles/s41564-019-0503-9>. doi:10.1038/s41564-019-0503-9
- Holmes A. H., Moore L. S. P., Sundsfjord A., Steinbakk M., Regmi S., Karkey A., Guerin P. J., Piddock L. J. V. Understanding the mechanisms and drivers of antimicrobial resistance. *The Lancet*. 2016 [accessed 2022 Jul 29]; 387(10014): 176-187. <http://www.thelancet.com/article/S0140673615004730/fulltext>. doi:10.1016/S0140-6736(15)00473-0
- INCIENSA (2012). Informe de vigilancia basada en laboratorio de las enfermedades diarreicas: Alerta incremento en las gastroenteritis por *Salmonella* Weltevreden: Vehículo de infección aún no determinado. (pp. 1-9). [INCIENSA] Instituto Costarricense de Investigación y Enseñanza en Nutrición y Salud. https://www.inciensa.sa.cr/vigilancia_epidemiologica/informes_vigilancia/2020/CNRB/Vigilancia%20de%20laboratorio%20de%20Salmonella%20spp.,%20Costa%20Rica%202018.pdfINCIENSA. (2020). Vigilancia de laboratorio de *Salmonella* spp., Costa Rica 2018 (pp. 1-17). [INCIENSA] Instituto Costarricense de Investigación y Enseñanza en Nutrición y Salud. <https://www.inciensa>.

- sa.cr/vigilancia_epidemiologica/informes_vigilancia/2020/CNRB/Vigilancia%20de%20laboratorio%20de%20Salmonella%20spp.,%20Costa%20Rica%202018.pdf
- Karesh, W. B. y Noble, E. (2009). The bushmeat trade: Increased opportunities for transmission of zoonotic disease. *The Mount Sinai Journal of Medicine*, New York, 76(5), 429-434. <https://doi.org/10.1002/msj.2013>
- Kramer, L. D., Styer, L. M., and Ebel, D. E. (2008). A Global Perspective on the Epidemiology of West Nile. *Annual Review of Entomology* 53, 61-81.
- Lamontagne, J., Forest, A., Marazzo, E., Denis, F., Butler, H., Michaud, J.-F., Boucher, L., Pedro, I., Villeneuve, A., Sitnikov, D., Trudel, K., Nassif, N., Boudjelti, D., Tomaki, F., Chaves-Olarte, E., Guzmán-Verri, C., Brunet, S., Côté-Martin, A., Hunter, J., ... Paramithiotis, E. (2009). Intracellular adaptation of *Brucella abortus*. *Journal of Proteome Research*, 8(3), 1594-1609. <https://doi.org/10.1021/pr800978p>
- León B., Jiménez C., González R., Ramírez-Carvajal L. (2019). First complete coding sequence of a Venezuelan equine encephalitis virus strain isolated from an equine encephalitis case in Costa Rica. *Microbiol. Resour. Announc.* 8: e00672-19. <https://doi.org/10.1128/MRA.00672-19>.
- León, B., Jiménez-Sánchez C., and Retamosa-Izaguirre, M. (2021). An Environmental Niche Model to Estimate the Potential Presence of Venezuelan Equine Encephalitis Virus in Costa Rica. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18, no. 1: 227. <https://doi.org/10.3390/ijerph18010227>
- León, B., Käsbohrer, A., Hutter, S. E., Baldi, M., Firth, C. L., Romero, J. J., Jiménez, C. (2020). National seroprevalence and risk factors for Eastern equine encephalitis and Venezuelan equine encephalitis in Costa Rica. *Journal of Equine Veterinary Science*. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2020.103140>
- León, B.; González, G.; Nicoli, A.; Rojas, A.; Pizio, A. D.; Ramírez-Carvajal, L.; Jiménez, C. (2022). Phylogenetic and Mutation Analysis of the Venezuelan Equine Encephalitis Virus Sequence Isolated in Costa Rica from a Mare with Encephalitis. *Vet. Sci.* 29, 258. <https://doi.org/10.3390/vetsci9060258>
- Linssen, B., Kinney, R. M., Aguilar, P., Russell, K. L., Watts, D. M., Kaaden, O. R., & Pfeffer, M. (2000). Development of reverse

- transcription-PCR assays specific for detection of equine encephalitis viruses. *Journal of Clinical Microbiology*, 38(4), 1527-1535. <https://doi.org/10.1128/JCM.38.4.1527-1535.2>
- Marti E., Variatza E., Balcazar J. L. The role of aquatic ecosystems as reservoirs of antibiotic resistance. *Trends in Microbiology*. 2014 [accessed 2022 Jul 29]; 22(1): 36-41. <http://www.cell.com/article/S0966842X13002242/fulltext>. doi:10.1016/j.tim.2013.11.001
- Martin, D. H., Eddy, G. A., Sudia, W. D., Reeves, W. C., Newhouse, V. F., & Johnson, K. M. (1972). An epidemiologic study of Venezuelan equine encephalomyelitis in Costa Rica, 1970. *American Journal of Epidemiology*, 95(6), 565-578. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a12142>
- Nisbett, R., Rodríguez, L. L., Clarke, M. R., Glander, K. E., Teaford, M. F., Jiménez-Sánchez, C. (2002). Preliminary report on the epidemiology of Vesicular Stomatitis Virus in a free-ranging population of Costa Rican howling monkeys. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 67(2), 272-273
- O'Neill, J. (2015). Antimicrobials in Agriculture and the Environment: Reducing Unnecessary Use and Waste. *Rev. Antimicrob. Resist.*, 1-44.
- Robinson T. P., Bu D. P., Carrique-Mas J., Fèvre E. M., Gilbert M., Grace D., Hay S. I., Jiwakanon J., Kakkar M., Kariuki S., et al. Antibiotic resistance is the quintessential One Health issue. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*. 2016 [accessed 2022 Jul 29];110(7): 377-380. <https://academic.oup.com/trstmh/article/110/7/377/2588524>. doi:10.1093/trstmh/trw048
- Rodríguez-González M. J., Jiménez-Pearson M. A., Duarte F., Poklepovich T., Campos J., Araya-Sánchez L. N., Chirino-Trejo M., Barquero-Calvo E. Multidrug-Resistant CTX-M and CMY-2 Producing *Escherichia coli* Isolated from Healthy Household Dogs from the Great Metropolitan Area, Costa Rica. *Microbial Drug Resistance*. 2020 [accessed 2020 Nov 2]; 26(11): 1421-1428. <https://www.liebertpub.com/doi/10.1089/mdr.2020.0146>. doi:10.1089/mdr.2020.0146
- Rojas I., Barquero-Calvo E., Van Balen J.C., Rojas N., Muñoz-Vargas L., Hoet A. E. High Prevalence of Multidrug-Resistant Community-Acquired Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* at the Largest Veterinary Teaching Hospital in Costa Rica. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*. 2017

- [accessed 2017 Sep 6]; 17(9): vbz.2017.2145. <http://online.liebertpub.com/doi/10.1089/vbz.2017.2145>. doi:10.1089/vbz.2017.2145
- Rojas-Jiménez J., Brenes-Mora E., Alcázar-García P., Arguedas-Porras R., Barquero-Calvo E. Pansusceptible *Escherichia coli* isolates obtained from feces of free-ranging Baird's Tapirs (*Tapirus bairdii*), suggests a low selective pressure of resistant determinants, in the North-western region of the Talamanca Mountain Range, Costa Rica. *Journal of Global Antimicrobial Resistance*. 2019 [accessed 2019 Jan 21];16:140-143. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30268809>. doi:S2213716518301875
- Rojas-Jiménez J, Jiménez-Pearson M. A., Duarte-Martínez F., Brenes-Mora E., Arguedas R., Barquero-Calvo E. First Report of a Multidrug-Resistant ST58 *Escherichia coli* Harboring Extended-Spectrum Beta-Lactamase of the CTX-M-1 Class in a Fecal Sample of a Captive Baird's Tapir (*Tapirus bairdii*) in Costa Rica, Central America. *Microbial Drug Resistance*. 2022 [accessed 2021 Jul 30]; 28(1): 143-148. <https://www.liebertpub.com/doi/abs/10.1089/mdr.2020.0339>. doi:10.1089/mdr.2020.0339
- SoA.D., Shah T.A., Roach S., Ling Chee Y., Nachman K. E. An Integrated Systems Approach is Needed to Ensure the Sustainability of Antibiotic Effectiveness for Both Humans and Animals. *Journal of Law, Medicine and Ethics*. 2015 [accessed 2022 Jul 29]; 43(S3): 38-45. <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-law-medicine-and-ethics/article/abs/an-integrated-systems-approach-is-needed-to-ensure-the-sustainability-of-antibiotic-effectiveness-for-both-humans-and-animals/3FA421F9B7579013ECC7C640CB5B591D>. doi:10.1111/jlme.12273
- Suárez-Esquivel, M., Baker, K. S., Ruiz-Villalobos, N., Hernández-Mora, G., Barquero-Calvo, E., González-Barrientos, R., Castillo-Zeledón, A., Jiménez-Rojas, C., Chacón-Díaz, C., Cloeckert, A., Chaves-Olarte, E., Thomson, N. R., Moreno, E., & Guzmán-Verri, C. (2017). Brucella Genetic Variability in Wildlife Marine Mammals Populations Relates to Host Preference and Ocean Distribution. *Genome Biology and Evolution*, 9(7), 1901-1912. <https://doi.org/10.1093/gbe/evx137>
- Suárez-Esquivel, M., Hernández-Mora, G., Ruiz-Villalobos, N., Barquero-Calvo, E., Chacón-Díaz, C., Ladner, J. T., Oviedo-Sánchez, G., Foster, J. T., Rojas-Campos, N., Chaves-

- Olarte, E., Thomson, N. R., Moreno, E., & Guzmán-Verri, C. (2020). Persistence of *Brucella abortus* lineages revealed by genomic characterization and phylodynamic analysis. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 14(4), e0008235. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0008235>
- Suárez-Esquivel, M., Ruiz-Villalobos, N., Hidalgo-Jara, W., Chacón-Díaz, C., Zúñiga-Pereira, A. M., Masís-Mora, M., Fernández-Fernández, E., Hernández-Mora, G., Barquero-Calvo, E., Chaves-Olarte, E., Thomson, N. R., Foster, J. T., Moreno, E., & Guzmán-Verri, C. (2021). Canine brucellosis in Costa Rica reveals widespread *Brucella canis* infection and the recent introduction of foreign strains. *Veterinary Microbiology*, 257. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2021.109072>
- Suárez-Esquivel, M., Ruiz-Villalobos, N., Jiménez-Rojas, C., Barquero-Calvo, E., Chacón-Díaz, C., Víquez-Ruiz, E., Rojas-Campos, N., Baker, K. S., Oviedo-Sánchez, G., Amuy, E., Chaves-Olarte, E., Thomson, N. R., Moreno, E., & Guzmán-Verri, C. (2017). *Brucella neotomae* infection in humans, Costa Rica. *Emerging Infectious Diseases*, 23(6), 997-1000. <https://doi.org/10.3201/eid2306.162018>
- Weaver, S. C., Ferro, C., Barrera, R., Boshell, J., Navarro, J. C. (2004). Venezuelan equine encephalitis. *Annual Review of Entomology*, 49, 141–174. Venezuelan Equine Encephalitis | *Annual Review of Entomology*.

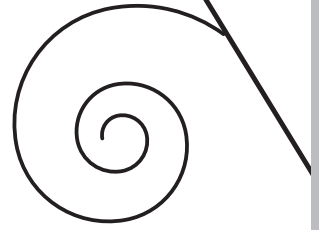


Capítulo III

Impacto positivo a la docencia, investigación, extensión y la salud pública desde el trabajo transdisciplinario y el abordaje de interacciones inter-especie en el hospital especies menores y silvestres (HEMS)

Mauricio Jiménez Soto¹,
Karen Vega Benavides²,
José Mauricio Pereira Mora³

-
- 1 Catedrático de la Escuela de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA) y coordinador del programa académico Hospital de Especies Menores y Silvestres. Máster Ciencias (UNA).
 - 2 Académica de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA). Ponente en congresos y simposios nacionales e internacionales en la rama de medicina y cirugía veterinaria de pequeñas especies y animales silvestres, con autoría y coautoría en artículos y divulgaciones científicas.
 - 3 Académico de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA). Ponente en congresos nacionales e internacionales en la rama de medicina veterinaria de pequeñas especies con autoría y coautoría en artículos y divulgaciones científicas.



Desde que se conformó el programa Hospital de Especies Menores y Silvestres (HEMS) de la Escuela de Medicina Veterinaria (EMV) de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA), se ha caracterizado por el desarrollo de ideas y actividades en escenarios urbanos, rurales e intrahospitalarios. Por medio de este quehacer se ha logrado el mejoramiento de la salud pública mediante el abordaje de Una Salud. Englobando diferentes especialidades de la medicina veterinaria, se han fortalecido las evaluaciones de salud de las distintas poblaciones animales mediante las evaluaciones clínicas, procedimientos quirúrgicos y diagnóstico de enfermedades infecciosas y no infecciosas (incluyendo zoonosis: agentes infecciosos que pueden transmitirse de animales a humanos). Lo que ha permitido responder a situaciones de vulnerabilidad y de emergencia nacional desde la medicina veterinaria, la injerencia política de forma transdisciplinaria en el ámbito nacional y latinoamericano en las diferentes áreas relacionadas a la salud y el bienestar animal. Todo esto enlazado a la docencia, la cual es nuestra principal labor y el eje de nuestro quehacer, con metodología asertiva que se adapta al medio costarricense, las demandas y sus necesidades y que involucra activamente al estudiantado.

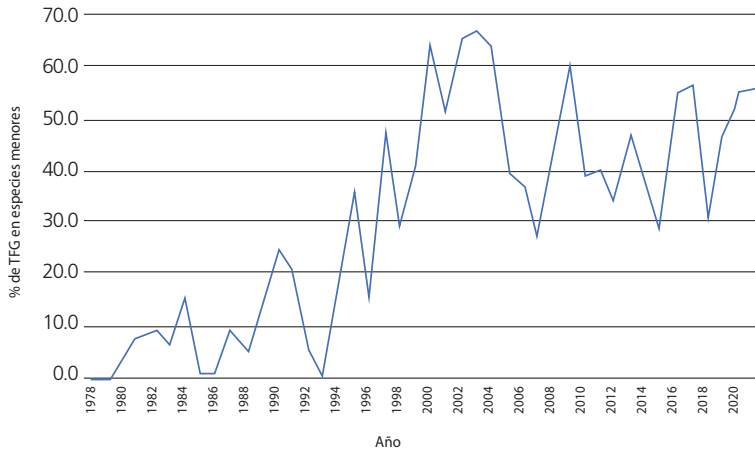
“Somos un centro médico hospitalario de referencia nacional, que aporta de manera significativa a la docencia, mejora el quehacer del gremio médico veterinario, da respuesta a las poblaciones socialmente vulnerables, y aporta a la comunidad científica”.

Historia

El programa Hospital de Especies Menores y Silvestres es creado en 1995, como proyecto de extensión adscrito a la Unidad Especializada de prestación de servicios de la UNA, vinculado desde sus inicios a la docencia, y siempre enfocado en brindar impulso al bienestar animal, con lo cual mejora la calidad de vida de las mascotas y por ende de sus propietarios.

La carrera de Medicina Veterinaria en Costa Rica inició en 1973 con un enfoque exclusivo en especies productivas, debido a la demanda de servicios de profesionales en dicha rama. La salud animal de especies de compañía no era algo común en ese momento. Por ello, no es sino hasta 1981 cuando inicia el interés por realizar trabajos de graduación en especies menores. Antes de 1984, menos de un 10 % de los trabajos de graduación presentados en la EMV estaban relacionados a especies de compañía y no fue sino hasta 1995 que incrementó al 35 % hasta llegar a un pico del 66.7 % en 2003 (Figura 1). La figura no incluye los años 2021 y 2022 debido a que no se contó con el dato exacto al momento de la elaboración de este capítulo. La EMV no tuvo un interés considerable en el área de especies menores hasta 1995 cuando se inauguró HEMS. El hospital favoreció e incentivó a los estudiantes a orientarse en el desarrollo de la clínica y la investigación de especies menores.

Figura 1
Porcentaje de trabajos finales de graduación (TFG)
realizados en especies de compañía desde 1978 hasta 2020



Fuente: elaboración propia.

El HEMS ha enfrentado múltiples retos y cambios con el pasar de los años. El esfuerzo en conjunto de múltiples profesionales en medicina veterinaria ha permitido posicionarlo como centro médico de referencia, con alta casuística y manejo avanzado de casos clínicos médicos quirúrgicos. Se desarrolla un bio-aprendizaje de alta calidad, compatible con el modelo pedagógico base de la UNA, y nos adoptamos a un mercado que es variable y que la teoría con la práctica en los cursos de la carrera de Medicina Veterinaria, la cual integra la docencia, extensión, investigación y vinculación externa y con ello se contribuye directamente a la acción sustantiva de la UNA.

Como centro médico se practica la medicina, con empatía a un dolor que no siempre se suele interpretar e incluso difícil de tratar en algunas especies o situaciones. Esto se logra gracias a la interacción de un equipo dinámico y activo que conoce su compromiso y que realiza con responsabilidad su labor (Imagen 1).

Imagen 1.
Trabajo en equipo durante una cirugía de cesárea entre médicos veterinarios, estudiantes internos, asistentes veterinarios y estudiantes voluntarios



Fuente: archivo de la Escuela Veterinaria UNA.

Sin duda el crecimiento del HEMS hasta la actualidad ha sido producto de todo un proceso evolutivo, de crecimiento y aprendizaje conjunto. Desde el cambio en los métodos de aprendizaje, que ahora son mucho más participativos, hasta la mejora en equipo médico e infraestructura, todo para dar nuestro mejor servicio a la docencia y los pacientes.

Actualmente el HEMS cuenta con una recepción; con espacio para clasificar los pacientes de acuerdo al comportamiento; tres consultorios; áreas especializadas para pacientes críticos, caninos, felinos, especies exóticas, y especies silvestres; dos salas para servicio de radiografía digital; una sala para ecografía y servicio de endoscopia; área de terapia física; un área de atención de urgencias; dos quirófanos (Imagen 2); una sala de tratamientos base; laboratorio; lavandería y área de autoclave, además de las bodegas de almacenaje y oficinas para docentes correspondientes.

Imagen 2.

El HEMS cuenta con diversidad de equipos para la atención de pacientes. Acá se observa al Dr. Eddy Vega tomando una radiografía en una cirugía



Fuente: archivo de la Escuela Veterinaria UNA.

En el HEMS reconocemos nuestro rol para la sociedad, como médicos veterinarios, y a pesar de los obstáculos que se puedan presentar, superamos dificultades sin discontinuar nuestras labores, estando presente en emergencias nacionales, dando respuesta en atención a poblaciones vulnerables ante situaciones comunitarias difíciles, logrando solventar necesidades, ofreciendo atención de calidad y así salvando muchas vidas de animales (Imagen 3) que hemos tenido la bendición de atender y dar de alta satisfactoriamente.

Imagen 3.
Pacientes del HEMS



Fuente: archivo de la Escuela Veterinaria UNA.

Nuestra Visión

Lograr un ambiente hospitalario que permita el aprendizaje y generación de conocimiento, brindando diferentes técnicas y abordajes de medicina veterinaria en las especies menores y animales silvestres y resguardo de la salud pública. Con participación integrada de académicos, estudiantes y administrativos. Medicina veterinaria de alta calidad para una educación superior de alto nivel.

Nuestra Misión

Ser un hospital de enseñanza y centro médico de referencia, líder multidisciplinario, brindando soluciones mediante especialidad diagnóstica y terapéutica de alta calidad e innovadoras, siempre logrando educación de excelencia, profesionales de alto nivel, además de lograr extensión a la comunidad y generar conocimiento.

Proyectos asociados al HEMS

El HEMS como programa académico y proyecto de vinculación ha desarrollado a través del tiempo diversos proyectos con fines de investigación y extensión a la comunidad. Estos proyectos no cuentan con un financiamiento propio por lo que han sido sostenidos con los fondos y recursos generados a través de la venta de servicios del proyecto de vinculación HEMS. Dicho proyecto de venta de servicios funciona bajo la estructura de una entidad pública en todo lo que respecta a los procesos administrativos y de manejo de recursos; sin embargo, debido a la naturaleza del servicio brindado es imposible dejar de lado una estructuración de "ente privado" en el sentido de que, al ser un servicio médico, es necesario mantener horarios 24/7 los 365 días al año, lo cual representa un esfuerzo adicional en lo que respecta al sacrificio que debe hacer el personal médico, administrativo y de estudiantes para brindar la atención de mascotas

aun en días feriados, fines de semana y asuetos. Este esfuerzo se ve recompensado con el financiamiento que permite mantener las actividades de extensión a través de los proyectos asociados. Dentro de estos proyectos podemos mencionar:

Módulos quirúrgicos interdisciplinarios

Este proyecto representa una oportunidad de innovación, construcción de nuevas capacidades e implementación de técnicas quirúrgicas y medicina avanzada para ser aplicadas. En conjunto, hemos trabajado con escuelas de medicina humana y otras facultades de medicina veterinaria, buscando mejorar la salud humana y animal. Se han implementado cirugías en especies de manejo complejo ya sea por su anatomía, fisiología u otro. Se implementan diferentes manejos neuro-ortopédicos (Imágenes 4 y 5), de tejidos blandos especializados principalmente en cirugía cardiovascular compleja, manejo de heridas y oncología.

Imagen 4.

Cirugía neuro-ortopédica realizada por el Dr. Mauricio Pereira en colaboración de la interna Yislany Mora (mascarilla negra) y la pasante alemana Marie Krebs.



Fuente: archivo de la Escuela Veterinaria UNA.

Imagen 5.

Fijación esquelética externa circular con varios anclajes en un conejo. Los huesos de los conejos son más porosos que los de otras especies como caninos, además de ser una especie nerviosa por lo que representa un reto médico quirúrgico



Fuente: archivo de la Escuela Veterinaria UNA.

Entre las funciones interdisciplinarias comprenden el apoyo en los casos que amerita prácticas para profesionales que se forman en la cirugía humana. Si nos devolvemos en el tiempo no debemos olvidar que las prácticas con modelos quirúrgicos para trasplante hepático en adultos y niños, y otros procedimientos importantes se realizaron en el HEMS con equipos completos de cirujanos especializados. Anteriormente se realizaban estas prácticas en las instalaciones del HEMS. En la actualidad trabajamos con ellos en el centro de Cirugía Experimental y Cáncer de la Facultad de Medicina de la UCR (Imagen 6). Con la aprobación de la Ley de Bienestar Animal, se ha dado asesoría en anestesia y analgesia para que los animales involucrados tengan el mayor confort posible.

Imagen 6.

Nuestra labor, además de formar en bienestar animal a profesionales de medicina humana, consiste en verificar que estos animales no sufran, se lleva sus anestésicos y protocolos de analgesia avanzados, bajo estricta vigilancia y monitoreo integral.



Fuente: archivo de la Escuela Veterinaria UNA.

Diagnóstico y prevención de patologías en fauna silvestre

El proyecto enfocado a salud en fauna silvestre nacional permite que los estudiantes comprendan de medicina preventiva en animales silvestres, y medicina poblacional, donde la especie, características de manejo e individuo son importantes (Imagen 7). El tipo de abordaje en estos pacientes siempre es diferente y adaptativo, y solo con experiencia directa de casos y situaciones reales se comprueba esto. Por medio de este proyecto se realiza salud pública, medicina poblacional y de individuo. En el HEMS se realiza prevención, diagnóstico y terapias médicas y quirúrgicas de fauna silvestre, también se efectúa educación de sostenibilidad y no tenencia de estos animales, así como no violentar el ecosistema.

Imagen 5.
La atención de poblaciones de fauna silvestre es parte de las actividades del HEMS



Fuente: archivo de la Escuela Veterinaria UNA.

Se realizan estudios de posibles patologías que afectan silvestres, así como el impacto a la especie humana, animales domésticos y su entorno. Muchas de las enfermedades en estos animales son un reflejo del impacto humano en sus vidas y contextos (Imagen 8). El aporte a la fauna silvestre por parte del HEMS por muchos años se brindó de forma gratuita, como una forma de aportar a la conservación, y bienestar de los animales. En los últimos años surgió un convenio marco con el fin de atender casos o circunstancias categorizados por las autoridades, pero siempre se mantiene el apoyo y cooperación a centros de rescate, y entidades relacionadas.

Imagen 8.

Atención a campo de mapaches por parte de la Dra. Karen Vega, la asisten los estudiantes Ernesto Rojas (vestimenta morada) y Guillermo Víquez.



**Asistencia veterinaria a
zonas marginales o en riesgo**

Una de las labores más significativas para el HEMS, sus académicos y para los estudiantes, es la participación en atención de animales en poblaciones necesitadas de nuestro país. Este proyecto inicia como una actividad de pasatiempo sin estar inscrito como tal en la Universidad, pero sí dando frutos desde sus primeros pasos, por ello, las autoridades sugirieron que se hiciera la inscripción formal del proyecto en el sistema. Esto nos hace ser conscientes de realidades que suceden en nuestro país, que a veces no creemos tan cercanas o complejas.

Conocemos y nos involucramos en la mejora de situaciones que representan luchas sociales que se dan día a día y no por medio de una voz que no sufre la necesidad, con lo cual se logra ser un impacto positivo. Se realiza un trabajo de medicina preventiva, en la que se desparasitan y vacunan animales y se evita de este modo que la población animal presente casos o brotes de enfermedades infecciosas. Aun cuando las mascotas son miembros de la familia, sus dueños no siempre tienen la capacidad real de brindar medicina preventiva de alta calidad. Asimismo, realizamos control poblacional por medio de esterilizaciones de animales con estándares de esterilidad y calidad que corresponde (Imagen 8), respecto a materiales, equipo personal capacitado que lo realiza. Esto representa un agradecimiento para con nuestra carrera y las posibilidades que nos da la UNA.

Imagen 9.

Uno de los grupos que han visitado zonas rurales para campañas de castración. Bernarda Mora, una mujer emprendedora de una zona rural con una gran conciencia sobre el bienestar animal y educación hacia los niños, aliada de HEMS en zonas rurales. Arriba de izq. a dcha: Dra. Karen Vega, Brandon Castillo (estudiante), Bernarda Mora (blusa roja), estudiantes Luis Jiménez, Adrián Lizano, Paola Moran, Ángela Mónoga. Debajo de izq a dcha: estudiantes Mauricio Guerra, y Wilson Bonilla



Fuente: archivo de la Escuela Veterinaria UNA.

Al ser un servicio de la Universidad y el Hospital (sin costo al propietario), las personas de la comunidad se organizan para ofrecer alimentación y hospedaje a los estudiantes y personal que participa en estas campañas; esto representa una convivencia muy enriquecedora, ya que conocemos historias, costumbres y un poco de la identidad comunitaria del sitio que visitamos (Imagen 9).



Imagen 9.

A la izquierda: atención durante el huracán.
A la derecha: atención en comunidades rurales



Fuente: archivo de la Escuela Veterinaria UNA.

El HEMS como aula, docencia hospitalaria

El aprendizaje es una serie de eventos que se van plasmando en la memoria y que logran convertirse en toma de decisiones propias y hasta el desarrollo de habilidades técnicas y especializadas. Aprender haciendo y creando nuestro propio conocimiento con cimientos de apoyo profesional es el compromiso del HEMS, donde se rompe el paradigma de enseñanza tradicional, siendo pioneros al desafiar un sistema que solía ser poco flexible, con limitada capacidad de innovación y originalidad.

Se logró transformar un sistema de memorización en clases magistrales donde el profesor es el único dueño del conocimiento hacia un sistema que impulsa cada vez más el raciocinio propio y la toma de decisiones al dejar al estudiante involucrarse en el sistema hospitalario. Este avance se obtiene en un espacio físico disponible, pero mayormente gracias a docentes que impulsan y siguen luchando por que la enseñanza sea participativa. Desde los primeros años, los estudiantes logran descubrir, asistiendo al hospital, cómo se utiliza lo que aprenden e incluso motivando su formación al entender la importancia y las repercusiones reales.

Parte de la preparación profesional y personal, es el aspecto de "convivencia respetuosa", trabajo en equipo, respetar las ideas del compañero y defender a la vez nuestros criterios (Imágenes 10 y 11); y esto se recalca en un ambiente médico donde se es competitivo porque se busca ser el mejor, pero a su vez se tiene conciencia de que es en equipo que se obtienen resultados efectivos, ninguno es autosuficiente y se necesita del otro, esto es parte de formación en todo profesional. En el HEMS se implementa la enseñanza de académico a estudiante, pero también de estudiantes a estudiantes (Imagen 12).

Imagen 10.
Laboratorio de cirugía, a parte de los conocimientos médico-quirúrgicos, es importante transmitir una sana convivencia entre los estudiantes.



Fuente: archivo de la Escuela Veterinaria UNA.

El manejo hospitalario de pacientes y clientes tiene un desafío psicológico, con desgaste emocional, en el que siempre mantenemos la empatía, pero no es un proceso fácil, y el cómo hacerlo se redescubre día a día según el contexto y las personas, es algo que solo mediante la práctica se puede adquirir.

No es un secreto que, en la formación médica, la mayoría de los profesionales han tenido uno o varios mentores, esa figura de profesional que nos da el apoyo, la oportunidad, que cree en nosotros y nos ayuda a desarrollar habilidades e incluso sorprendernos de nosotros mismos, y esto nos enseña a que, así como alguien nos ayudó, debemos ayudar cuando nos sea posible, transmitir lo mucho o poco que sabemos, ayudar a superar inseguridades, y ser agradecidos con quien nos ayudó a formarnos.

Imagen 11.

Laboratorio de cirugía impartido por el Dr. Mauricio Jiménez.



Fuente: archivo de la Escuela Veterinaria UNA.

Progresivamente, los estudiantes se enfrentan a procedimientos de mayor complejidad, en los que se da una suma de información técnica, anatómica y fisiológica. Una de las áreas más desafiantes, estresantes, y al mismo tiempo enriquecedoras, en la formación y vida profesional, es el manejo de emergencias, el saber cómo actuar lo más pronto posible, el no titubear, el seguir o dar directrices. Es toda una dinámica de “aquí y ahora”, mientras que se analiza todo el contexto de lo sucedido, y esto es algo que ningún libro por sí solo logra enseñar, no es algo que se pueda realmente aprender si no se vive la situación y se forma parte de ella, es una formación integral que saber hacer maniobras, como manejar el paciente, el equipo de trabajo, los propietarios, y todo el contexto que avanza alrededor mientras se intenta salvar una vida, sin generar impactos negativos posteriores.

La carrera de Medicina Veterinaria implica una inversión económica significativa y los esfuerzos necesarios para llevarla adelante son tanto de la Universidad, de los estudiantes y de sus familiares. Los recursos destinados para sufragar laboratorios durante la carrera, por lo general, son insuficientes dentro del presupuesto de cada año, por lo que figuras como el proyecto de venta de

servicios HEMS han permitido solventar las necesidades de recursos para materiales didácticos y de enseñanza requeridos en los cursos impartidos por la cátedra de especies menores de la EMV, máxime cuando se implementa un sistema de enseñanza participativo donde los estudiantes aprenden haciendo (Imagen 12).

Los académicos del hospital también fuimos estudiantes de esta carrera, en esta Universidad, y no lo olvidamos.

Imagen 12.

El pasante Esteban Montero durante una evaluación médica para detectar abultamientos de la glándula mamaria de una perra.



Fuente: archivo de la Escuela Veterinaria UNA.

Situación sanitaria del covid 19

La emergencia suscitada en el año 2020 a raíz del coronavirus SARS-Cov-2 y la enfermedad que causa (covid-19) fue todo un reto a escala mundial. El aislamiento y las medidas restrictivas requeridas para mitigar el impacto de esta enfermedad vinieron a cambiar por completo el paradigma y rol de trabajo establecido por años en el HEMS. El reto de mantener en operación un programa académico que resulta vital en el proceso de

enseñanza de los estudiantes requirió el esfuerzo conjunto de académicos y autoridades universitarias. El uso de herramientas virtuales y nuevas técnicas de enseñanza a distancia resultó primordial para mantener el accionar docente del HEMS. Asimismo, como centro médico resultaba indispensable mantener el servicio brindado a la comunidad y la labor social acostumbrada. Para el HEMS, no resultaba factible simplemente cerrar sus puertas ya que de la labor realizada dependían en buena medida la formación de los estudiantes de carrera y la atención a las mascotas. El aprendizaje fue un proceso constante y gracias al esfuerzo conjunto y al establecimiento y acatamiento de estrictos protocolos sanitarios se logró mantener las puertas del HEMS abiertas para así poder contribuir de manera significativa en los procesos de enseñanza estudiantil, así como colaborar con la salud pública, especialmente en un momento en que era imprescindible incrementar esfuerzos a fin de sobrellevar la pandemia por la enfermedad covid-19.

Salud pública y las mascotas

Las mascotas y su salud juegan un papel importante en la salud pública. Por ello, la medicina preventiva en estos animales, el manejo adecuado y control es de suma importancia para evitar la transmisión de enfermedades. Especialmente en poblaciones vulnerables que no viven en condiciones adecuadas o con dueños que no se responsabilizan adecuadamente de su mascota. Es, en estos casos, donde las enfermedades zoonóticas presentan un riesgo importante para la salud humana. Por tanto, el HEMS se ha tomado la tarea de evaluar los riesgos que esto representa en el país.

En conjunto con el HEMS se realizó un estudio de importancia para la salud pública en el Pacífico Central. Se evaluaron 191 muestras en 18 diferentes playas. En 16 playas hubo heces caninas en 115 muestras y se encontraron parásitos gastrointestinales como: *Ancilostomatideos*, *Trichuris vulpis*, *Dipylidium caninum*, *Toxocara canis* y Coccidios. Los *Ancilostomatideos* (que presentaron la mayor prevalencia) se encontraron en 15 playas y los *T. canis* en cuatro playas, lo cual puede representar un riesgo por su potencial zoonótico.

Animales de servicio social

Como parte de nuestro trabajo, tenemos pacientes que dan servicios especializados al país, como la unidad canina de la policía, perros que apoyan al servicio de bomberos o perros y gatos como guía o de soporte a personas con alguna discapacidad.

Los perros que pertenecen a las unidades de bomberos y policías son héroes que mejoran la calidad de vida comunitaria, trabajan con esfuerzo y entrega, son parte de un equipo de trabajo en conjunto con humanos que ayudan a investigaciones, rescates, y soportes en eventualidades. Su labor es desgastante, lo que los lleva a presentar enfermedades degenerativas, así como accidentes. Por ello, los hace acreedores de atención médica de alta calidad. En nuestro hospital son atendidos con el cariño y confort pertinente para que mejoren su calidad de vida y se reincorporen a sus labores. Incluso se tratan pacientes pensionados o retirados de sus labores, ya que fueron héroes en su prestación de servicios, y merecen lo mejor. Por otra parte, los animales guía o de soporte emocional nos representan una responsabilidad muy especial pues son vitales para una persona. Son animales que ayudan a alguien con una situación desafiante, al no tener otras facilidades o canales de apoyo. Un perro o un gato son la fortaleza de esa persona.



UNA mirada interdisciplinaria para fortalecer la vida académica

Para el HEMS, es de suma importancia el trabajo conjunto con académicos de otras áreas de enseñanza de la UNA y los aportes que puedan brindar en pro de mantener la mejora constante. El HEMS ha sido reconocido por el trato afable y respetuoso que se brinda a las personas que demandan de sus servicios. Se destaca la participación de los estudiantes internistas que, junto al equipo médico, comparten un saludable espacio de interacción donde se pone en práctica su aprendizaje a lo largo de la carrera con el respaldo docente.

En los espacios de diálogo entablados con académicos de otras facultades de la UNA (Marisol Vidal, vicedecana del Centro de Investigación y Docencia en Educación CIDE) se destacan algunas características acerca de las cuales conviene reflexionar para continuar aportando a la mejora de la formación en la Universidad Necesaria.

- Se manifiesta un respeto al conocimiento de la persona aprendiente, por cuanto el académico/académica titular brinda espacio para que disfrute de la libertad de interactuar con el paciente que ingresa al consultorio médico.
- En la atención del paciente se establece un diálogo permanente en un lenguaje técnico-académico entre el médico titular y el aprendiente internista; pero paralelamente se establece una comunicación clara y directa con la persona que espera comprender el padecimiento del paciente.
- La formación en el HEMS no solo trata de que la comunidad aprendiente logre los conocimientos académicos oportunos para consolidar una sólida práctica profesional; sino que además aporta herramientas para que la persona logre seguridad, saber escuchar y conocer el contexto de vida del animal en tratamiento, para brindar las sugerencias y recomendaciones oportunas que garanticen la óptima recuperación y su vida plena.
- Un aspecto relevante de la formación que brinda el HEMS es la identificación con el sentir y el hacer universidad necesaria mediante la articulación de la docencia, la extensión, la investigación y la producción, donde las comunidades estudiantiles tienen espacios para edificar conocimientos desde el vínculo estrecho con la realidad de poblaciones vulneradas.

Este vínculo estrecho con la realidad y de manera particular con las poblaciones de menor riqueza material del país, aporta la posibilidad de construir una mirada crítica para comprender la desigualdad desde sus causas estructurales; lo que posibilita un despertar de consciencia sobre la necesidad de formar parte de una ciudadanía que se reconoce a sí misma como forjadora de su historia y de su porvenir.

Imagen 13.

El abordaje interdisciplinario es fundamental para la recuperación de los pacientes. Observamos a las fisioterapeutas Daniela Ruiz (piscina) y Andrea Perera, parte del equipo del HEMS



Fuente: archivo de la Escuela Veterinaria UNA.

Finalmente, al analizar los aportes que se generan al compartir espacios de vida académica desde una mirada interdisciplinaria (Imagen 13) y desde el hacer “Universidad Necesaria”, se concluye que quizá el diálogo interdisciplinario desde los territorios en aprendizaje sea un sendero que se deba explorar de manera permanente por parte de los equipos académicos en la UNA para responder con la pertinencia y versatilidad que demanda el país y la región latinoamericana.

La empatía nos acerca al espíritu

La relación con los animales de compañía aporta vivencias para enfrentar mejor los estados de depresión, estrés, duelo y aislamiento social, las mascotas se convierten en un acompañamiento incondicional, aumentan la autoestima y el sentido de

responsabilidad, que necesariamente generan una mejor integración con la sociedad. Es decir, los animales evitan el sentimiento de soledad en una sociedad donde el modelo socioeconómico y productivo demanda a las personas intensas horas de trabajo, aunado al condicionamiento consumista y a las limitadas posibilidades de espacios interactivos con el entorno y seres vivos.

Imagen 14.

La interna Sara Bottger evalúa un gato y aprovecha para indicarle al hijo de la familia propietaria de la mascota, cuales son los cuidados que necesita el felino



Fuente: archivo de la Escuela Veterinaria UNA.

Los animales se convierten en un soporte de bienestar físico y emocional; por lo que conviene profundizar en el desarrollo de proyectos de investigación de acción participativa que permita generar consciencia colectiva de la importancia de sentipensar la vida humana, a partir del enfoque biocéntrico donde se logre una convivencia cuidadora, saludable y amorosa con los seres vivos con quienes se comparte la vida (Imagen 14 y 15).

Vivencias en pro de la salud y el bienestar animal en COSTA RICA en torno a los Proyectos de Ley de Bienestar de los Animales 18.298 y 18.625

En el proceso de la aprobación de las reformas a la Ley de Bienestar Animal para la penalización de actos de abandono, maltrato y crueldad animal, la participación estratégica del Proyecto Asistencia Veterinaria de la Escuela de Medicina Veterinaria del Hospital de Especies Menores y Silvestres (HEMS), con el apoyo de académicas(os) del Centro de Estudios Generales (CEG) de la UNA, la Escuela de Estudios Generales de la UCR, y líderes del Sector Tradiciones (taurino y equino), por medio de la Federación Taurina y Equina Costarricense (FETEC), de los grupos animalistas Amigos de la Calle, Gatuno Mundo y Hermanos Animalistas en el momento en que el proyecto se había empantanado con la presentación de más de 100 mociones, fue significativo para lograr su retiro, llegar a acuerdos y avanzar a su aprobación.

Dentro de las múltiples reuniones que hubo, podemos mencionar la suscitada en el despacho de la diputada Laura Garro (jefa de la Fracción del PAC) ocurrida el 17 de julio de 2016. Para el apoyo al tema de autoconsumo, tradiciones, boyeo y penas, en dicha reunión estarían presentes los académicos Francisco San Lee Campos CEG-UNA, Mauricio Jiménez Soto EMVET-UNA, Giselle Marín Araya EEG-UCR, y Federico Lancheros presidente FETEC y Royner Villalobos, representante FETEC.

Sin duda, el aporte que realizó un grupo de académicas/os de las universidades públicas en el tema de la investigación con animales y la definición de animales de la Escuela de Medicina Veterinaria (Imagen 16), el Laboratorio de Ensayos Biológicos (LEBI) de la UCR y el Comité Institucional del Cuido y Uso de Animales (CICUA) UCR, el Centro de Estudios Generales-CEG-UNA y la Escuela de Estudios Generales EEG-UCR, ante la propuesta de un Referéndum y las complicaciones que ese proceso tendría, más el texto del proyecto que echaba por la borda lo negociado para efectos del proyecto de ley 18.298 y el 18.625, permitió avanzar hacia la aprobación de la Ley de Bienestar Animal. Hay que tener presente que se logró coordinar con APREFLOFAS y además el

HEMS promovió una reunión con el Fiscal Ambiental, lo cual, también, permitió en su momento esclarecer varias dudas con respecto a la Ley de Bienestar Animal y las posibles afectaciones a lo dispuesto en la Ley de Conservación de la Vida Silvestre.

Imagen 15.

MESA REDONDA en la sala Marco Podestá de la Escuela de Medicina Veterinaria: Análisis y discusión de la situación actual del proyecto de ley para el Bienestar Animal. Exp.18.298, de cara al II Debate del proyecto 18.625 de iniciativa popular, que sería posteriormente aprobado. Se trató el tema de la definición de animal y la experimentación, así como nuestra propuesta de sustituir el texto 18.625 Iniciativa Popular con el texto 18.298 corregido. Expositores: Sr. Avelino Esquivel Quesada, Diputado.

Presidente Comisión Permanente de Ambiente, Recursos Naturales y Cambio Climático, Asamblea Legislativa, Dr. Alexis Sandí Muñoz, Doctor. Subdirector Servicio Nacional de Salud Animal (SENASA), Sr. Gino Biamonte. Presidente Asociación Preservacionista de Flora y Fauna a (APREFLOFAS), Dr, Mauricio Jiménez Soto, Académico, Investigador y Coordinador del HEMS-UNA. Moderador: Francisco San Lee Campos CEG-UNA.



Fuente: archivo de la Escuela Veterinaria UNA.

Premios obtenidos por el HEMS

- 2011. Premio “Calidad de Vida” al Programa de asistencia veterinaria de especies de compañías en zonas marginales UNA. Otorgado por la Defensoría de los Habitantes (Imagen 17).
- 2012. Premio “Extensionista destacado” a Mauricio Jiménez Soto. Otorgado por la Universidad Nacional de Costa Rica.
- 2014. Ver área de especies silvestres.

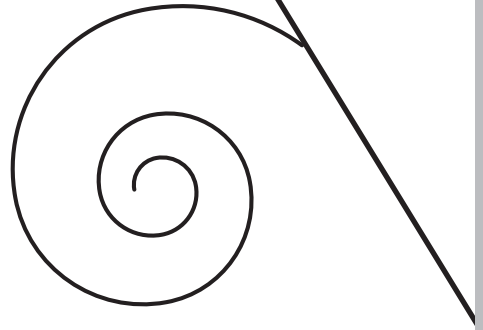
Imagen 17.
Premio dado por la Defensoría de los Habitantes.



Fuente: archivo de la Escuela Veterinaria UNA.

Agradecimientos

Queremos agradecer por su valioso aporte en la realización de este escrito a los estudiantes Wilson Bonilla Machado y Fabián Cortés Gutiérrez.

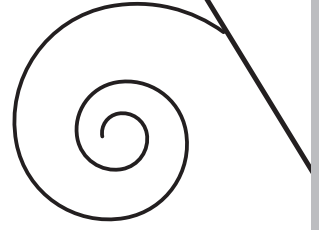


Capítulo IV

**Contribución del hospital de especies
menores y silvestres (HEMS)
en la formación y el desarrollo
académico, de investigación y
extensión en medicina y manejo
de animales silvestres mediante el
abordaje de UNA salud**

Mauricio Jiménez Soto¹,
José Mauricio Pereira Mora²,
Karen Vega Benavides³

-
- 1 Catedrático de la Escuela de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA) y coordinador del programa académico Hospital de Especies Menores y Silvestres. Máster Ciencias (UNA).
 - 2 Académico de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA). Ponente en congresos nacionales e internacionales en la rama de medicina veterinaria de pequeñas especies con autoría y coautoría en artículos y divulgaciones científicas.
 - 3 Académica de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA). Ponente en congresos y simposios nacionales e internacionales en la rama de medicina y cirugía veterinaria de pequeñas especies y animales silvestres, con autoría y coautoría en artículos y divulgaciones científicas.



La Escuela de Medicina Veterinaria (EMV) nace junto con la Universidad Nacional (UNA) en el año 1973. En sus inicios, se enfocó principalmente en el área de especies productivas, pero con el paso de los años fue diversificándose en otras áreas como las especies de compañía y la industria alimentaria entre otras. Posteriormente el campo de los animales silvestres se fue difundiendo y con el tiempo surgieron varios cambios en las áreas de docencia, investigación, extensión y producción. Actualmente brinda un apoyo consistente a la medicina y conservación, por medio de asesorías y apoyo a entidades.

Desarrollo de la investigación y docencia en especies silvestres en la Escuela de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional

Una forma de evidenciar el apoyo dado por el HEMS y los diferentes laboratorios de la EMV es a través de los muchos trabajos de graduación presentados a lo largo de los años para obtener el grado de Licenciatura en Medicina Veterinaria, así como los posgrados (maestrías) en la EMV, incluyendo la Maestría en Ciencias Veterinarias Tropicales donde se han presentado distintos trabajos de tesis relacionados con animales de vida silvestre.

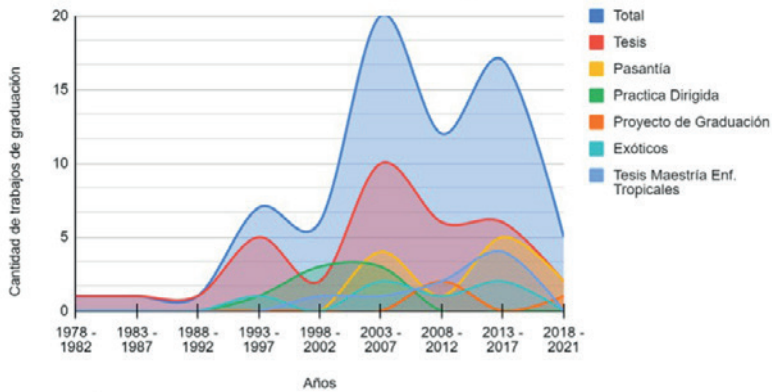
La EMV ha tenido un gran cambio en cuanto a los enfoques dados a la docencia, investigación, extensión y producción.

Dentro de dichos cambios el área de las especies silvestres ha tomado mayor importancia los últimos años, debido a la toma de conciencia sobre la importancia de la conservación, no solo por la importancia que tienen dentro de los ecosistemas, sino también por el impacto económico al ser considerados atractivos turísticos. Además de sus implicaciones en salud pública y del ecosistema, teniendo en cuenta la relación que hay con animales domésticos y de producción.

Trabajos de graduación presentados en especies silvestres

Es de destacar que el primer trabajo de graduación que se presentó en animales silvestres para optar por el grado de Licenciatura en Medicina Veterinaria fue en el año 1979 y en animales exóticos fue en el año 1994. Por otra parte, en la Maestría en Enfermedades Tropicales, el primer trabajo de graduación presentado en animales silvestres fue en el año 2002 y a partir de esos años, se continuaron realizando trabajos de graduación en esta área. Respecto a ello se evidencia que la mayor cantidad de trabajos de graduación en animales silvestres se presentó entre el año 2003-2007, con un total de 21 trabajos de graduación. Además, se ha visto que las tesis son las que representan la mayor cantidad de trabajos de graduación en animales silvestres y exóticos (Figura 1).

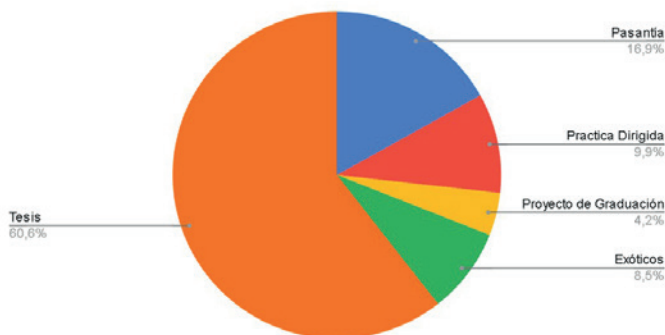
Figura 1.
Trabajos de graduación en animales silvestres y exóticos para
optar por el grado de Licenciatura en Medicina Veterinaria y
Maestría en Enfermedades Tropicales



Fuente: elaboración propia.

En total, 70 trabajos de graduación acerca de la medicina y salud de animales silvestres, incluyendo tesis de Maestrías en Enfermedades Tropicales, han sido presentados desde el año 1978 hasta el año 2021. De estos, 42 representan tesis (35 de Licenciatura y 7 de Maestría), 12 pasantías, 7 prácticas dirigidas, 3 proyectos de graduación y, además, 6 trabajos de graduación en animales exóticos (Figura 2).

Figura 2
Porcentaje de los distintos trabajos de graduación en animales
silvestres presentados en la EMV.



Fuente: elaboración propia.

Estos 70 trabajos de graduación simbolizan un 8.06 % de los 881 trabajos de graduación presentados entre 1978 y 2021 en la EMV. Sin embargo, este porcentaje únicamente representa un promedio del total de trabajos, porque al inicio fueron solo un 1.89 % entre los años 1978-1982 y obtiene su valor más alto de 15.18 % en los años 2013 a 2017. Lo anterior deja en evidencia que el porcentaje de trabajos de graduación en animales silvestres y exóticos ha ido aumentando con el paso del tiempo. De igual manera, en la Figura 3 puede visualizarse que, pese a las disminuciones que presenta, tiene una tendencia al aumento.



Fuente: elaboración propia.

Desarrollo académico enfocado en especies silvestres

En el año 1985, el Dr. Mauricio Jiménez impulsa una nueva rotación para el curso de último año de carrera denominado “Internado Rotatorio en animales silvestres”, todo un plan piloto que fue apoyado por el entonces director de la Escuela, el Dr. Carlos Jiménez, así como la subdirectora, Dra. Magaly Caballero. Durante esta rotación, los estudiantes pasaban unas semanas de su internado en distintos centros de rescate y refugios para complementar su educación en animales silvestres. De este modo, disponían de un contacto más directo con los animales silvestres, la labor de estos centros y comprendían de una forma más

integral los conceptos de conservación, medicina y biología de los animales silvestres. La metodología incluía que se les dejaran trabajos semanales que revisaban con el Dr. Mauricio Jiménez.

Este contacto motivó a muchos estudiantes a realizar pasantías, trabajos de tesis, prácticas dirigidas u otras modalidades de proyectos de graduación. Es interesante que algunos de los estudiantes que en ese entonces realizaron esa rotación continúan en la actualidad involucrados de una u otra forma en este campo.

En el año 2005, con el nuevo plan de estudio implementado en la EMV, se introduce el curso de "Manejo y medicina de animales silvestres", impartido en ese momento por el Dr. Mauricio Jiménez Soto, y quien fue parte de la comisión encargada de las modificaciones respectivas para que se realizara dicho cambio. Como parte de la experiencia se trabajó con profesionales y especialistas internacionales relacionados al área; se realizaron giras a centros de rescate y zoológicos, con lo cual se incentivó a que los estudiantes se desarrollaran e investigaran en esta área, y se generaron trabajos de graduación presentados en ese año y en años posteriores. En ese entonces, fue de suma relevancia el apoyo de los laboratorios de la EMV ya que no se disponía de recursos, ni tampoco de materiales que fueron asumidos por el HEMS; la Universidad no contaba con un rubro para ejecutar dicha rotación.

En cuanto a los animales exóticos, es importante destacar que muchas personas los confunden con animales silvestres. En ese entonces no habían representado un impacto tan grande comparado con los animales silvestres o especies domésticas, pero se denotaba su importancia clínica, quirúrgica e incluso en las investigaciones. Estas mascotas han incrementado su popularidad demandando mayor especialización de la medicina de animales exóticos, lo cual se evidencia en la casuística actual en el HEMS.

Debemos admitir que la inserción laboral en el área de fauna silvestre fue compleja al principio, debido a que no solo se debía evidenciar experiencia y conocimiento en medicina de animales silvestres, sino que quienes administraban los Centros de rescate eran personas extranjeras en su mayoría, que ingresaban al país con fines turísticos y, al ver ciertas carencias en el manejo de vida silvestre, se instalaban en el país, abrían los centros, y el veterinario que atendía en el sitio también provenía de otro país en muchos de los casos. Poco a poco, se convencieron de nuestro compromiso y apoyo y fuimos ganando espacio en esos sitios hasta el punto de asesorarlos sobre el manejo y los cuidados que necesitaban los animales.

Primeras observaciones sobre el quehacer veterinario en fauna silvestre

Uno de los aportes que tuvo mayor influencia en la toma de decisiones a escala nacional fue el presentado como parte de un libro de la realidad de la vida silvestre en América Latina, se trata de un artículo escrito en 1998 titulado “Práctica Médico Veterinaria en los Centros de Rescate y Rehabilitación de fauna silvestre en Costa Rica”, desde la perspectiva de la medicina veterinaria en Costa Rica. Su fin fue el diálogo y concientización sobre la importancia de los centros de rescate. Logró reunir académicos y personas afines para evaluar el manejo que se le da a la vida silvestre en Latinoamérica. El trabajo presentado incluía el análisis de las actividades médicas en tres centros de rescate en Costa Rica (Centro para la Restauración de la Naturaleza Zoo Ave, Jardín Gaia y el Centro Especializado en Felinos Silvestres Profelis), los cuales se escogieron debido a que recibían un mayor número de animales, realizaban proyectos de liberación continuamente, y contaban con una infraestructura adecuada.

Al igual que sucedía en el resto de Latinoamérica, en Costa Rica surgió la necesidad y se asumió el reto de entrenar al médico veterinario (Imagen 1), y personal de apoyo para la correcta atención de animales silvestres. Como parte de esta iniciativa se crearon convenios entre la Universidad Nacional de Costa Rica, y diferentes centros de rescate y rehabilitación con el fin de integrar a los estudiantes de internado rotatorio en diferentes áreas. Entre ellas: diseño de la cuarentena, elaboración de protocolos de liberación, recepción de animales, ambientación de pacientes, evaluaciones de salud, entrenamiento en el diagnóstico de enfermedades, y valoración de condición adecuada para los animales no aptos para liberación y evaluación de la capacidad reproductiva de los animales en el centro.

Imagen 1.

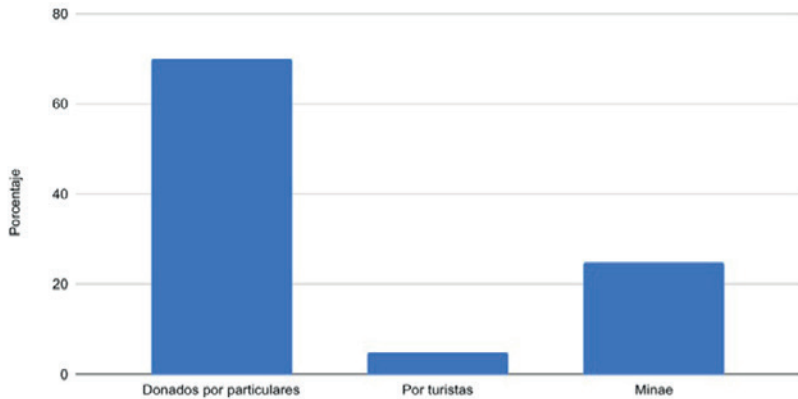
La formación continua de médicos veterinarios de la mano de herramientas tecnológicas modernas, le ha permitido al HEMS brindar servicios al país relacionados a la atención de fauna silvestre. En la imagen de la izquierda se observa a la Dra. Karen Vega realizar un ultrasonido a una cría de manigorto, (*Leopardus pardalis*), en colaboración del doctor Esteban Rodríguez. A la derecha el doctor Rodríguez evalúa las radiografías de un cocodrilo, (*Crocodylus acutus*), en compañía de la asistente Luis Jimenez.



Fuente: archivo de la Escuela Veterinaria UNA.

Una de las principales dudas que nos surgió fue de dónde venían estos animales. Entre las principales observaciones sobre la procedencia de estos animales se notó una predominancia de las entregas voluntarias (Figura 4). El comportamiento anterior se podría explicar por tres razones: primero, la concientización de la población acerca de la tenencia de animales silvestres; segundo, los entes gubernamentales carecían de medios de transporte para movilizar a los animales; y, por último, al hecho de que la ley en ese entonces era más permisiva con respecto a la movilización de los animales silvestres, por ello, las personas particulares, al encontrar un animal silvestre, lo movilizaban de un lugar a otro. Se podría mencionar que lo anterior también facilitaba el tráfico interno de fauna.

Figura 4.
Distribución de personas que entregaban fauna silvestre a tres centros de rescate costarricense, contemplando mamíferos, aves, y reptiles.



Fuente: elaboración propia.

El estudio evaluó 170 animales de acuerdo con características y parámetros físicos, anatómicos y fisiológicos. Se concluyó que la inadecuada condición física era el parámetro predominante que se encontraba afectado (60 %), y dicha condición se debía en su mayoría al manejo inapropiado, por ejemplo, muchos de ellos no ingresaban inmediatamente a los centros luego de descubiertos, sino que eran mantenidos dentro de casas, u oficinas, y muchos de ellos provenían de un contexto en el que eran mascotas por muchos años.

Posteriormente, se analizaron las patologías más frecuentes según grupo, por ejemplo, en aves fue común encontrar parasitosis, y problemas metabólicos por malas dietas, y las condiciones de hacinamiento en cautiverio. Mientras que los mamíferos neonatos e infantes con frecuencia presentan problemas digestivos. Es importante notar que la mayoría de las patologías presentes en estos grupos era posible corregirlas con una dieta y un manejo adecuado, y tan solo unos cuantos requirieron terapia médica o quirúrgica. En los mamíferos jóvenes y adultos, los problemas digestivos seguían siendo de importancia, aunque también los problemas infecciosos fueron relevantes, por lo cual fue necesario de forma más común utilizar un manejo médico. También los cambios para disminuir el estrés, la implementación de medidas de higiene y bioseguridad o cambios en los cuidadores fueron importantes en estos casos. Con

respecto a los reptiles, las enfermedades metabólicas se presentaron con gran incidencia, también relacionados a las condiciones en las que vivían y dietas mal balanceadas.

Según lo observado en este estudio, se recomendó que los centros debían contar con áreas de cuarentena, de neonatología según especie, incubadoras, una clínica con espacio suficiente para el alojamiento de animales, área de preparación de alimentos, de rehabilitación y de laboratorio. Además, se destacó la importancia de reforzar el criterio médico veterinario como parte de un equipo multidisciplinario, para decidir cuáles animales eran aptos para la liberación. Adicionalmente, se enfatizó la relevancia de desarrollar protocolos completos según las necesidades de cada grupo de animales o incluso según su especie. Es importante recalcar que estos centros eran, para ese entonces, los centros con mejores medidas y condiciones. Nuestro estudio arrojó resultados semejantes al realizado por Shirley Ramírez Carbajal y Federico Guillén Solano de ASVO (Asociación de Voluntarios para el Servicio en las Áreas Protegidas).

Estos temas se siguieron analizando por años, evolucionando y desarrollando los aspectos generales de la medicina de vida silvestre, sus necesidades y la importancia de formar protocolos. Para antes del 2013, participamos en varias reuniones de iniciativa popular para hacer algunos cambios en la ley de vida silvestre del momento y posteriormente participó activamente en la modificación de la Ley de Conservación de Vida Silvestre N.º 7317. Finalmente, en el 2013, por decreto ejecutivo se acepta dicha modificación mediante su publicación en *La Gaceta* N.º 194.

Para el 2015, mediante el proyecto "Diagnóstico y control de enfermedades en animales silvestres adscrito al HEMS", se realizó un estudio en conjunto con el Instituto de Conservación y Manejo de Vida Silvestre (ICOMVIS, Grace Wong y Laura Porrás como responsables), y el Human Society International (HSI, representado por Shirley Ramírez y Gretel Delgadillo), donde se visitaron numerosos centros del país, y se realizó una encuesta a escala nacional de cuántos lugares de acopio de animales silvestres existían en Costa Rica (Tabla 1), dicho estudio brindó información importante sobre la cantidad de centros de rescate en el país. Se notó que muchos de estos no contaban con los requerimientos para caracterizarlos como tal, se trata realmente de zoológicos o zocriaderos, revestidos con la imagen de ser un centro de rescate. Los resultados fueron presentados a entes

gubernamentales, y a los medios de comunicación; y dentro de lo encontrado se resalta que existían en total 245 sitios de rescate, algunos de estos desconocidos incluso por el MINAE.

Tabla 1.
Visitación de los lugares por AC durante el
desarrollo del diagnóstico nacional.

Área de conservación	Sitios encontrados en el área	Sitios visitados
Amistad pacífico	5	4
Amistad Caribe	13	10
Osa	12	12
Tempisque Arenal	11	8
Cordillera volcánica central	43	7
Tortuguero	20	13
Tempisque	12	6
Pacífico central	55	0
Arenal Huetar Norte	71	0
GUANACASTE	13	0
Total	245	20 (24%)

Fuente: elaboración propia.



Cabe destacar que se encontraron zocriaderos de animales silvestres donde se daba una endogamia muy marcada, con lo cual dichos individuos no eran animales idóneos para liberar a la vida silvestre. Esto a pesar de que la ley de ese entonces decía que había que liberar un porcentaje de los animales que se encontraban en dichos zocriaderos. La presentación de todos estos datos causó un impacto que vino a desencadenar la creación de una comisión para reglamentar la modificación de la Ley de Vida Silvestre del 2013.

Ley de Vida Silvestre y su Reglamento

Después de presentar los resultados y observaciones de las investigaciones llevadas a cabo a la viceministra de Ambiente

Patricia Madrigal Cordero, hubo una necesidad de convocar y formar una comisión. Como parte de nuestra experiencia, tanto en el manejo como en la medicina de animales silvestres, y la participación de foros, y talleres organizados por entidades públicas y ONG, se nos invitó a participar en la comisión para la modificación a la ley de vida silvestre.

Cuando se realiza un reglamento podemos no estar de acuerdo con algunos puntos, pero no podemos olvidar que este debe estar acogido a la ley y soportado con evidencia científica. Es importante incluso mencionar que, aunque queramos salvaguardar parte del quehacer de nuestra profesión algunas veces no se puede debido a la existencia de cláusulas o estipulaciones legales. Pero muy por encima de nuestros deseos está la conservación, el bienestar de los animales y la salud pública. Para el HEMS, fue una gran experiencia participar en política pública, además, el brindar la experiencia y vivencias adquiridas con el tiempo; y se reconoció también que las leyes deben estarse actualizando ya que los cambios culturales y ambientales se dan continuamente. Cabe destacar que este reglamento recibió varios Recursos de Amparo ante la Sala IV, y que hasta el momento ninguno de estos fue acogido, lo cual revela que está apegado a la modificación de la ley que se realizó por iniciativa popular.

Investigación

Investigar problemas que aquejan a nuestra población de animales silvestres, y que son los causantes de las mortalidades más importantes, muchas veces debe priorizarse. Un ejemplo, a través de la historia del HEMS, sería el trabajo sobre episodios de mortalidad en monos en Corcovado, en el cual se apoyó a investigadores como Grace Wong, y Eduardo Carrillo, dicha investigación fue presentada a escala nacional durante el II Simposio de Primates de Costa Rica en 2007, y en el ámbito internacional en el International Conference on Diseases of Zoo and Wild Animals del 2010 (Wong *et al.*, 2007), en donde se quiso evidenciar la importancia de la constante monitorización de la fauna silvestre, sus fuentes de alimento y las condiciones climáticas.

Se ha participado en proyectos, ya sea como autores principales o coautores, o en algunos casos solo como facilitadores y contactos, ya que la colaboración que hemos hecho a diferentes centros de rescate de vida silvestre nos ha permitido construir una estrecha relación con académicos y profesionales de la medicina

y conservación de vida silvestre. Es relevante mencionar que el personal que ha formado parte del HEMS ha apoyado la realización de trabajos con diversos ejes de investigación, así pues, algunos de los trabajos buscaron ayudar en la identificación, manejo y liberación de especies silvestres; otras investigaciones describieron la presencia de agentes patógenos, algunos con capacidad zoonótica o con resistencia a algunos medicamentos.

Con respecto a cirugías, se ha incentivado a la publicación de casos clínicos como el de una tortuga lagarto (*Chelydra serpentina*), a la cual se le extrajo un cuerpo extraño (un anzuelo) mediante un abordaje de celiotomía (Vega-Benavides *et al.*, 2018). Este reporte de caso involucró a estudiantes, y es parte de las muchas experiencias con las que cuenta el personal de HEMS (Imagen 2) para exponer sobre el abordaje médico de emergencia en animales silvestres, cuando así se ha requerido. Así como este caso, otros casos clínicos han servido para que los estudiantes también desarrollen destrezas de comunicación médico-científica.

Imagen 1.

Otro ejemplo de abordajes médico-quirúrgico en reptiles es esta tortuga carey, (*Eretmochelys imbricata*) sometida a una cirugía.



Fuente: archivo de la Escuela Veterinaria UNA.

Un tema de investigación recurrente es el relacionado al estado de salud general de los animales silvestres. Dichos trabajos responden a la necesidad de entender el estado de vida de la fauna silvestre nacional, ya que mucha de la información disponible procedía y procede de investigaciones realizadas en otros

países. Se colaboró en investigaciones destinadas a describir los parámetros hematológicos de algunos animales silvestres, por ejemplo, primates no humanos en cautiverio (mono tití, mono Congo, mono carablanca, mono araña), felinos silvestres en cautiverio, perezosos de dos dedos y tucanes en cautiverio (Meneses y Jiménez, 2007; Jiménez *et al.*, 2008; Jiménez *et al.*, 2012; Torres *et al.*, 2014).

También se apoyó en reportar la presencia de agentes infecciosos; así como el posible impacto que podrían tener dichos agentes debido al contacto que existe entre ellos y el ser humano, así pues, se tienen los trabajos sobre agentes parasitarios en tucanes en cautiverio, y aves migratorias (Rodríguez *et al.*, 2009; Torres *et al.*, 2014). Se colaboró en la descripción del potencial que tienen los pizotes (*Nasua narica*) como portadores del nematodo zoonótico, *Angiostrongylus costaricensis*, y se concluye que son hospedadores definitivos de dicho parásito (Santoro *et al.*, 2016). Se colaboró en investigaciones que buscaban encontrar una relación entre los parásitos presentes en el tracto gastrointestinal de primates, y el ser humano en centros de vida silvestre en cautiverio, lo cual permitiría identificar no solo los parásitos presentes en ambos grupos, sino que haría reflexionar sobre los protocolos de bioseguridad presentes en dichos recintos, y ver qué cambios se podrían implementar (Jiménez, 2007).

También se han llevado investigaciones de enfermedades virales, y hemoparasitarias relacionadas a primates no humanos (detección del virus del Oeste del Nilo, y Malaria). En aves del grupo de las loras y lapas (psitácidas) en cautiverio en las que se buscó detectar los agentes virales como el circovirus, poliomavirus y la bacteria *Chlamydophila psittaci*. Otros agentes buscados en mamíferos silvestres han sido *Ehrlichia canis*, *Anaplasma phagocytophilum* y *Trypanosoma* spp. Estos trabajos han sido realizados por el laboratorio de Entomología y Zoonosis, liderados por la Dra. Gaby Dolz (Jiménez *et al.*, 2011; Chaves *et al.*, 2012; Fuentes-Ramírez *et al.*, 2017; Dolz *et al.*, 2019).

Entre 2017 y 2018, se apoyó investigaciones relacionadas a la evaluación de heces de palomas con el fin de saber si estaban presentes agentes zoonóticos (*Salmonella*), y genes de resistencia bacteriana. Las palomas muestreadas se encontraban en parques públicos, por lo que los hallazgos permitían darse una idea de a qué se estaban exponiendo las personas que tenían contacto con ellas en dichos sitios, en especial poblaciones sensibles como

personas inmunosuprimidas o niños. Al final se concluyó que sí portaban *Salmonella* en las heces de las palomas, así como se demostró la presencia de varios genes de resistencia bacteriana, siendo esto de relevancia, ya que las palomas podrían funcionar como diseminadoras, y reservorios de bacterias resistentes al efecto de alguno o varios antibióticos (Torres-Mejía *et al.*, 2018).

Se colaboró en una investigación que concluyó que existen monos con la capacidad de portar un agente llamado *Plasmodium malariae*, el cual causa la malaria en los seres humanos. Es de suma importancia completar estos estudios para saber el papel que juegan realmente estos parásitos en estas especies. Una investigación hecha utilizando los mismos monos concluyó que no eran portadores del agente causante de la tuberculosis (*Mycobacterium tuberculosis*); sin embargo, se hizo un llamado a no desatender la enfermedad en aquella población (Fuentes-Ramírez, 2016).

Por otra parte, se ha trabajado sobre la variabilidad genética de los monos en Costa Rica (Gutiérrez, 2011). La diversidad genética enriquece a cualquier ser vivo, y a la población a la que pertenece, por ejemplo, que existan sistemas inmunes variados dentro de una población permite que, mientras algunos animales pueden que se enfermen ante algún agente patógeno, otros no lo harán, o lograrán sobrevivir al padecimiento. Si los genes encargados del sistema inmune fueran los mismos en toda o casi toda la población, eso volvería a toda la población susceptible de un mismo padecimiento, con el riesgo de acabar con todo el grupo. Saber la información genética de las diversas poblaciones de fauna silvestre es relevante para la conservación porque, si queremos liberar un animal, o reproducirlo, debemos saber si estamos contribuyendo a la conservación de esa variabilidad genética, no solo por el bienestar del individuo, sino también de su especie. Muchos de los proyectos de reintroducción en los que participamos, contaban en sus protocolos con estudios genéticos.

Extensión histórica en fauna silvestre emanada del HEMS

Primer proyecto de liberación de *Ara macao*

Se participó del primer evento de liberación de lapas criadas y/o rehabilitadas en cautiverio, ocurrido en 1998. El apoyo del HEMS, representado por el Dr. Mauricio Jiménez (Imagen 3), fue determinante ya que nosotros diseñamos el primer protocolo para prevenir que estos animales fueran liberados portando enfermedades que pudieran afectar a otras poblaciones de fauna silvestre. Este fue el primer programa de liberación oficial ya que contaba con todos los permisos de las entidades gubernamentales, los cuales se obtuvieron luego de varias exposiciones en donde se explicaba el estado de salud de los animales. Para ese entonces, muchas de las pruebas de laboratorio para corroborar el estatus de salud de las lapas no se realizaban en el país, por lo que las muestras debieron ser enviadas a los Estados Unidos. Todo este proceso fue prolongado e inició con la conformación del grupo de lapas que se iban a liberar. Primero había que rehabilitar y muestrear a las aves, luego fueron trasladadas a la playa San Josecito, ubicada en Golfito, en donde se construyó una jaula de preliberación. Las lapas serían muestreadas de nuevo estando en ese sitio, y se hicieron algunas modificaciones a la jaula, para posteriormente liberarlas.

Imagen 3.
El doctor Mauricio Jiménez ha colaborado en programas de reintroducción de psitácidas.



Fuente: archivo de la Escuela Veterinaria UNA.

Participación en convivencia humano-animal silvestre

La participación en el tema de convivencia lleva muchos años, las primeras reuniones convocadas por el biólogo Jorge Hernández, y la ecóloga Ana Isabel Di Mare presagiaban mucho de lo que después iba a ser parte de nuestro trabajo: capturas de felinos en áreas urbanas, convivencia con animales en zonas turísticas, charlas en comunidades rurales, atención de enfermedades infecciosas en animales silvestres en zonas urbanas, rurales, y parques nacionales. Estos escenarios de acción han sido parte de nuestro apoyo, y trabajo en los años de trabajo del HEMS bajo el proyecto diagnóstico y manejo de enfermedades en animales silvestres.

Tiempos de cambio

Durante la pandemia, el HEMS continuó su servicio y por medio de encuestas a los principales centros de acopio diseñó un

plan de apoyo mediante exámenes de heces que se realizaron con el apoyo de la Dra. Ana Jiménez, y la Cátedra de Parasitología de la EMV. Los reportes se refirieron a cada centro con recomendaciones respectivas en caso de que lo ameritaba. Durante la pandemia se utilizaron espacios digitales para fortalecer la formación en algunos sectores productivos de importancia en el país, como es el caso del Instituto Costarricense de Turismo. Debemos tener claro que nuestra economía depende en gran medida del turismo, y esta actividad en nuestro país depende de la conservación de la flora y fauna, por ello, es importante la formación de empresarios y personal relacionados con las diferentes áreas turísticas, así como las entidades, de igual manera se mantuvo apoyo en casos médico-quirúrgicos. Consideramos que lo importante es mantenernos presentes con el apoyo y la injerencia para mejorar la salud y la relación de los seres humanos y los animales silvestres. Durante la situación sanitaria del covid-19 el HEMS, aun con todos los desafíos, no suspendió sus servicios médicos a los animales silvestres (Imagen 4).

Imagen 4.

Doctor Esteban Rodríguez evaluando un ejemplar de *Trachemys* spp a campo, la pandemia no detuvo la labor del HEMS



Fuente: archivo de la Escuela Veterinaria UNA.

Formación de conciencia

La Universidad no debe quedarse encerrada entre sus muros, debe extenderse, descentralizarse, salir a las comunidades para educar, y llevar a la reflexión diversos temas en los que todos podemos tener un impacto. El segmento más importante de la población a la que se debe llegar por su impacto a futuro es el conformado por los niños. La niñez es una etapa de la vida en donde se debe aprender a convivir con su entorno. Enseñarles la importancia del respeto hacia otras formas de vida es determinante para que ellos crezcan con una conciencia y ayuden a cambiar la conciencia de sus padres y abuelos (esto basado en experiencias que hemos tenidos trabajando en grupos de niños y jóvenes).

Se logró la autoría del libro *La Madre Tierra: un hogar maravilloso* del 2017 (Jiménez et al., 2017), y se participó del módulo #2 de la serie Nuevo Sol para la Vida, titulado "¡Sentir, pensar y convivir con los animales!", realizado entre los años 2015 y 2016 (Morales et al., 2016). Lo más interesante de este trabajo es que los niños pasaron a ser investigadores en sus propios entornos, y son copartícipes en la elaboración de estos módulos (Imagen 5).

Imagen 5.

Carátulas de los libros en que ha participado el personal del HEMS para concientizar a poblaciones escolares y maestros.



Fuente: archivo de la Escuela Veterinaria UNA.

El público meta fueron la niñez y sus maestros con el objetivo de hacerlos reflexionar sobre la importancia de la naturaleza, y el respeto hacia las demás formas de vida (Imagen 6). Se describe en el libro los derechos de los animales, las acciones que se deben hacer para mantener esos derechos en el día a día, incluso se incluyó el tema de los derechos de ellos, el cual no escapa de estar relacionado a todos los demás temas tocados, si pensamos en la interrelación que existe entre el ser humano y la naturaleza.

La creación de historias breves por parte de alumnos de escuela nos permitió identificar que algunas temáticas que creíamos muy complejas de explicar, en realidad pueden ser adecuadamente abordadas, transmitidas y captadas por parte de los niños, quienes plasmaron ese entendimiento en ciertas narraciones sobre el robo de animales, comportamientos que se deben tener si se planea observar animales en su entorno, formas de cuidar animales domésticos (tanto de compañía como de producción), y silvestres.

Imagen 6.

Polluelo rescatado por niños luego de una tala de árboles cerca de la comunidad, luego se comunicarían con el Dr. Mauricio Jiménez para llevarlo al HEMS



Fuente: archivo de la Escuela Veterinaria UNA.

Charlas

Las charlas impartidas como resultado del trabajo realizado en HEMS, a través de los años, versaron en temas de conservación y manejo de vida silvestre, al igual que enfermedades zoonóticas, y han servido para llevar el conocimiento a diversos sectores de la sociedad y capacitar no solo a miembros del

gremio de la medicina veterinaria, sino de otras carreras como Biología. Resulta decisivo llevar el conocimiento a estudiantes desde primaria hasta personal de instituciones públicas y privadas, así pues, las temáticas abordadas se acomodan al público meta, con el objetivo de que el mensaje que se quiera transmitir sea realmente captado. Toda esta educación es prioritaria para la conservación de nuestro país.

También formamos parte en este aspecto de la campaña Stop Animal Selfies con el fin de mantener como producto de todas estas actividades el sello verde de nuestro país que se vende en el ámbito internacional (Imagen 7).

Dentro de las charlas que destacan por su impacto formativo, están aquellas relacionadas a la fauna decomisada y la tenencia de los animales en diferentes centros de acopio en el medio nacional, en donde se busca exponer la problemática de la extracción de la vida silvestre de su hábitat, el impacto negativo que tiene sobre los ecosistemas, y las condiciones en que son transportados los especímenes, paupérrimas por decir lo menos, con lo cual se convierte la movilización de dichos animales en situaciones fatales por hacinamiento.

Imagen 7.

El personal de HEMS promueve la campaña "Stop Animals selfies", en la imagen se observa al Dr. Mauricio Pereira, el estudiante asistente Ernesto Rojas (morado), y Shirley Ramírez, una de las impulsadora de dicha campaña



Se han realizado charlas sobre el cuidado y manejo de animales silvestres en centros de rescate para formar a los futuros trabajadores de dichos centros. Se expone sobre las necesidades de la diversa fauna, y se busca que se les provean las condiciones adecuadas de manejo según el tipo de animal, su dieta, y comportamiento. También se explicó, para el grupo de los primates, cuáles eran los principales problemas médicos que los afectan dentro de los centros de vida silvestre, con el fin de identificar si a los recintos donde están se les debían hacer modificaciones, qué instrumentos se deben tener y en qué cantidad, sobre qué temáticas se podría centrar el entrenamiento de aquellos que están atendiendo a estos animales, entre otros aspectos.

Devolver a un animal a su medio ambiente para que continúe con su vida, y ejerza el papel que le corresponde en el delicado equilibrio del ecosistema es quizás el más importante de los logros en cuanto a rescate y manejo de vida silvestre. No cualquier animal es candidato para liberar, primero se debe asegurar que está en todas las facultades de poder reintegrarse al medio sin el riesgo de que vaya a sufrir dificultades para movilizarse, y obtener alimento. Así pues, se han dado charlas en relación a los programas de reintroducción, traslocación y rehabilitación de animales silvestres en general, y otras charlas más enfocadas en las aves psitácidas, como las guacamayas.

Mejorando Una Salud

Mediante la extensión universitaria, el Programa Hospital de Especies Menores y Silvestres ha trabajado en mejorar la salud de los animales silvestres de manera *ex situ* e *in situ* mediante el abordaje de Una Salud. Animales, humanos y ambientes no estamos aislados unos de otros. Las interacciones y sucesos que ocurren en cada uno de estos actores tienen una repercusión sobre los demás, incluida la salud. Por ende, trabajar en el bienestar y la medicina de animales silvestres es esencial para mantener Una Salud.

Actualmente, alrededor de un 70 % de las zoonosis y la mayoría de las enfermedades emergentes provienen de un reservorio silvestre. Por lo tanto, la medicina, la investigación y la educación son indispensables para prevenir la transmisión y diseminación de enfermedades infecciosas de animales silvestres hacia las personas y viceversa. El objetivo del HEMS ha sido

extender sus servicios médicos a los animales silvestres fuera del ambiente intrahospitalario y brindar cuidados veterinarios, mediante el diagnóstico de enfermedades infecciosas y no infecciosas, así como apoyo en el manejo y resolución de conflictos de la interfaz humano-animal. A través de los años, el proyecto ha promovido la ayuda mediante la medicina preventiva y curativa de los animales silvestres a entes gubernamentales, así como organizaciones no gubernamentales que se dedican al cuidado e investigación de animales silvestres.

Dada la limitada capacidad del Estado a la atención a campo de estos animales, la extensión universitaria se vuelve relevante para apoyar estas falencias. De esta manera se ha realizado apoyo a la creación de valores de referencia para especies nacionales, eventos de mortalidad en animales silvestres, brotes de enfermedades infecciosas, evaluaciones de sitios de manejo, decomisos por tenencia ilegal, charlas con comunidades sobre la importancia de la vida silvestre y evaluaciones de salud de poblaciones, entre otros. A centros de rescate y otros sitios de acopio de animales silvestres, el hospital le extendió la mano y colaboró con pruebas diagnósticas, imágenes médicas, cirugías especializadas, asesorías de manejo, asesorías médicas, y se involucró en proyectos de investigación e incentivó la medicina preventiva (Imágenes 8 y 9).

Imagen 8.

Crías junto a su madre, pacientes que pueden ser remitidos al HEMS, y que implican un manejo especial.
Arriba: Mono tití (*Saimiri oerstedii citrinellus*). Abajo: mono Congo o aullador (*Alouatta palliata*).



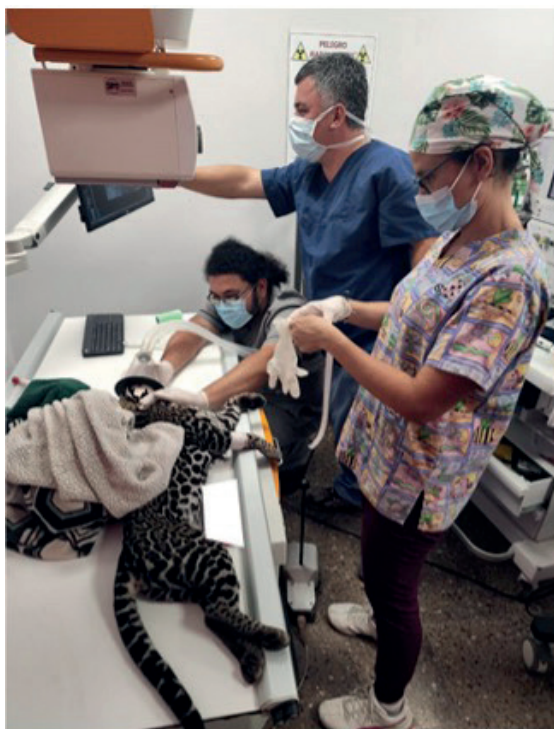
Fuente: archivo de la Escuela Veterinaria UNA.

El HEMS ha servido como centro de referencia para procedimientos médicos quirúrgicos complejos en animales silvestres que, en campo o algunos sitios, no se pueden llevar a cabo. Esto ha permitido que muchos animales logren regresar a la vida silvestre aun después de un pronóstico negativo o reservado; como en el caso del yaguarundí expuesto en el congreso internacional Yaboumba en el 2018, París Francia (Jiménez *et al.*, 2018). La extensión hacia las comunidades es clave en Una Salud. El enganche con las comunidades y la participación de estas en el cuidado, bienestar y vigilancia de la salud es importante para mantener la salud de los animales silvestres, así como las poblaciones comunitarias. El hospital ha buscado mediante los diferentes programas de extensión asociarse, educar y capacitar a estas comunidades para mejorar la salud de estos actores. A futuro, el programa continuará velando por la Una Salud; sin embargo, todavía hay mucho que mejorar y asociaciones que establecer para cumplir este objetivo. El hospital tiene claro que el abordaje de Una Salud y el trabajo transdisciplinario con las comunidades,

el gobierno y ONG es clave para enfrentar los desafíos que la vida silvestre tiene en este país.

Imagen 9.

La Dra. Karen Vega y el Dr. Mauricio Pereira afinan detalles para evaluar este ejemplo de manigordo, (*Leopardus pardalis*) referido para estudios radiográficos; a su lado el asistente Wilson Bonilla.



Fuente: archivo de la Escuela Veterinaria UNA.

Turismo, fauna silvestre y el riesgo a la salud pública

La riqueza en flora y fauna con la que cuenta Costa Rica le ha permitido convertir el turismo en una de sus principales fuentes de ingresos económicos, y uno de los productos más publicitados por el país. Aunado a los anterior, en el país se realizan actividades de conservación, monitoreo, investigación, programas de

reproducción y reintroducción de especies silvestres que ayudan a que exista una sostenibilidad ambiental de los recursos que tantos beneficios económicos y ecosistémicos nos dan.

Sin embargo, no es un secreto que una actividad que no está del todo ordenada puede deparar en severos daños ambientales, lo cual conlleva al deterioro de los ecosistemas y a una actividad económica tan sustancial para nuestro país. Los daños pueden presentarse a corto, mediano, y largo plazo, y ser consecuencia del mal manejo de los desechos, la deforestación, las quemas, cambio en el uso de los suelos, uso de insecticidas, tráfico ilegal de especies silvestres, y todos aquellos patrones de conducta humana que interfieren con la vida silvestre.

Con respecto a dichos patrones, debemos tomar en cuenta las interacciones humano-silvestres que pueden traer consigo la transmisión de enfermedades zoonóticas. La aparición de enfermedades emergentes y reemergentes afectan tanto la conservación como la salud pública, y la transmisión suele ocurrir debido a un incorrecto acercamiento entre la fauna silvestre y el ser humano.

Se resalta la práctica de alimentar a los animales silvestres en zoológicos, exposiciones, centros de acopio, o en zonas silvestres directamente (Imagen 10); hacer esto conlleva cambios comportamentales en la fauna, desde que disminuya la cantidad de alimento que obtienen por sí mismos, hasta la ocurrencia de accidentes físicos, y transmisión de enfermedades como se mencionó anteriormente. También se podría alterar la tasa de reproducción, provocando que las poblaciones de ciertos ejemplares aumenten; y las de otros, disminuyan.

Desafortunadamente, a veces ese acercamiento es promovido por el personal de lugares turísticos, incluso publicidad de quienes buscan atraer visitantes al permitirles la experiencia de alimentar fauna silvestre, y tomarse fotografías con ella.

No podemos dejar de mencionar factores como contaminación lumínica y sonora que existe en algunos sitios, en especial los turísticos, que producen la desorientación de los animales, lo cual dificulta su capacidad de cacería, o en otros casos la reproducción.

Imagen 10.
Turistas alimentando ejemplares de Mono tití
(*Saimiri oerstedii citrinellus*)



Fuente: archivo de la Escuela Veterinaria UNA.

Finalmente, queremos recalcar lo importante de evitar el contacto con los animales silvestres, no alimentarlos, no manipularlos, no llevar perros y gatos a zonas protegidas para evitar la disgregación de estos, no manejar de manera temeraria cerca de las áreas protegidas, reportar aquellos animales afectados por enfermedades o traumas a las oficinas regionales del SINAC, y evitar todo aquel comportamiento que afecte a la vida silvestre en general.

Premios obtenidos por el HEMS

Además del reconocimiento de muchas instituciones públicas y ONG por la labor, el acompañamiento y la disposición para resolver tantas necesidades de animales *ex situ* e *in situ*, algunas de estas intervenciones se han realizado para estudiar y controlar mortalidades de ciertas especies con números representativos.

Parte importante de estos reconocimientos se dieron en el 2014, Premio "Dr. José María Arias. Distinción por su contribución a la medicina veterinaria" al Dr. Mauricio Jiménez Soto. Se entregó durante el 50 Aniversario del Colegio de Médicos Veterinarios de Costa Rica por parte de la segunda vicepresidenta de la República Ana Helena Chacón; el presidente del Colegio de Médicos Veterinarios, y director general del SENASA, German Rojas Hidalgo. Se hace reconocimiento en especial al aporte en investigación, docencia y extensión en relación a la fauna silvestre y animales de compañía.

Comentarios derivados de la experiencia en docencia, extensión e investigación del HEMS

Haciendo un recuento de los productos de investigaciones, de apoyo a diferentes entidades gubernamentales (o no), de colaboración en comunidades, la formación que han recibido los estudiantes, hubiésemos esperado que, con el paso de los años, se hubiesen minimizado muchos de los problemas que presenta la conservación de la fauna silvestre. Actualmente, hemos sido testigos de que las enfermedades infecciosas no son la principal causa de mortalidad de los animales silvestres, como origen primario lo pueden ser derivado de otros factores que desencadenan cuadros clínicos que fueron causados por la noxa inicial.

Los efectos antropogénicos sobre los ecosistemas, sobre todo aquellos que generan conflictos, por ejemplo, animales electrocutados, animales involucrados en accidentes de tránsito, en especial los grandes felinos silvestres, los escenarios agropecuarios, en donde muchos tipos de agroquímicos y prácticas son una afrenta contra la vida silvestre y los ecosistemas adyacentes.

La legislación en Costa Rica se ha ido modificando para proteger el medio ambiente, pero muchas veces ejecutar las leyes requiere de muchos componentes, entre ellos la educación, la infraestructura y el personal debidamente preparado. El trabajo de conservación nos debe involucrar a todos y no solo a las entidades reguladoras, principalmente porque la conservación es marca país y el ingreso de turistas en busca de nuestra biodiversidad es un recurso económico de suma importancia para nuestra economía, y además que los animales silvestres son importantes en un ecosistema donde la salud de uno es la salud de todos los seres vivos que habitamos Costa Rica.

Actualmente seguimos apoyando a los Centros de Rescate, entidades gubernamentales como el SINAC-MINAE, y ONG, estando muy en contacto con las diferentes problemáticas que afectan a la vida silvestre en nuestro país.

Agradecimientos

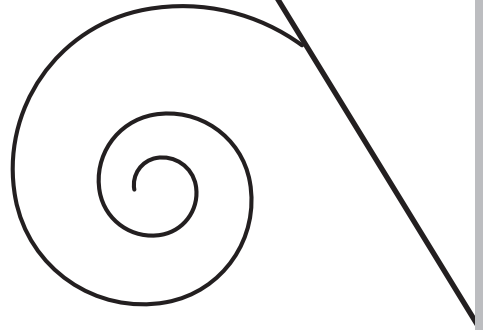
Queremos agradecer por su valioso aporte a los estudiantes Marian Meléndez López, Ernesto Rojas Sánchez, Valeria Villero Núñez, y en especial a Wilson Bonilla Machado por la paciencia a la hora de realizar, y revisar este documento.

Bibliografía

- Chaves A., Dolz, G., Gutiérrez-Espeleta, G., Ortiz, E., Di Mare M. I., Jiménez, M., Bernal, S., Chinchilla, M., Sánchez, R., Wong, G., Valerio, I. 2012. Serological and molecular detection of West Nile Virus in non-human primates from Costa Rica. Joint 61st WDA/10th Biennial EWDA Conference "Convergence in wildlife health", Lyon, Francia, 23 al 27 de Julio 2012, Proceedings, p. 123.
- Dolz, G., Solórzano Morales, A., Jiménez Soto, M., Jiménez Rocha, A. E., Alberti, A., Zobba, R., Campos, L., Castro Vásquez, R., Bonilla, M. C., Di Mare Hering, M. I. 2019. *Ehrlichia* spp., *Anaplasma* spp., y *Trypanosoma* spp. en mamíferos silvestres de áreas protegidas y áreas urbanas de Costa Rica. IV Bienal WDA Latinoamérica, San José, Costa Rica, 16 al 18 de julio 2019.
- Fuentes-Ramírez, A.C. 2016. Detección molecular de especies de *Plasmodium* y bacterias del complejo *Mycobacterium tuberculosis* en primates no humanos, en cautiverio, de Costa Rica [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Costa Rica]. <https://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/22004>
- Gutiérrez, G., Chaves, A., Ortiz, E., Chinchilla, M., Sánchez, R., Valerio, I., Jiménez, M., Hagnauer, I., Bernal, S., DiMare, M. I., Dolz, G., Wong, G. 2011. Variación genética de los monos en Costa Rica: Implicaciones para la conservación. 2° Congreso Internacional en Ecología de Enfermedades y Medicina de la Conservación, Kalaankab. Querétaro, México 9-11 noviembre 2011.
- Jiménez, M. 2007. Relación entre parasitosis intestinales en primates y humanos de tres diferentes centros de vida silvestre en cautiverio en Costa Rica [ponencia oral]. II Simposio de Primates de Costa Rica: 25-27 de julio, San Ramón, Costa Rica.
- Jiménez, M., Morales, C., Hagnauer, I., Astorga, N., Meneses, A., Blanco, K. 2008. Hematology in wild cats in captivity in Costa Rica under two different management conditions [poster]. Conference of European Association of Zoo and Wildlife Veterinarians (EAZWV) 2008: April 30-May 3, Leipzig, Germany.
- Jiménez, M., Sheleby-Elias, J., Blanco, K., Hagnauer, I., Madriz, K., Gutiérrez-Espeleta, G., Dolz, G. 2011. First molecular

- detection of avian circovirus, avian polyomavirus and *Chlamydophila psittaci* in psittacine birds living in captivity in Costa Rica. International Conference on Diseases of Zoo and Wild Animals, Lisbon, Portugal, 1° al 4 de junio. Proc. Int. Conf. Dis. Oo Wild Anim 2011: 144.
- Jiménez, M. Hagnauer, I. Meneses, A. Astorga, N. Herrera, G. 2012. Evaluation of hematology values in a population of free-living two-toed sloths (*Choloepus hoffmanni*) in northern Costa Rica [oral presentation]. Proceedings of the International Conference on Diseases of Zoo and Wild Animals 2012: May 16-19, Bussolengo, Italy.
- Jiménez-Soto, M., Retamosa-Izaguirre, M., Vargas-Morales, M. 2017. La madre tierra: un hogar maravilloso. Centro de Investigación y Docencia en Educación, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- Jiménez-Soto, M., Hagnauer, I., & Vega-Benavides, K. 2018. Human-wildlife conflict in Costa Rica: Veterinary emergency cases. Proceedings of International XI Congress Yaboumba World, Exotic, Zoo & Wild Animal Medicine and Surgery. Paris, France
- Meneses, A. Jiménez, M. 2007. Valores sanguíneos de *Ateles geoffroyi*, *Alouatta palliata*, *Cebus capricinus* y *Samiri oesterdi* en cautiverio en Costa Rica [ponencia oral]. II Simposio de Primates de Costa Rica: 25-27 de julio, San Ramón, Costa Rica.
- Morales, M. V., Castillo, M. V., Retamosa, M. 2016. An interdisciplinary view of ecosystem health. Research, Society and Development, [S. l.], v. 3, n. 2, pp. 154-187. doi: 10.17648/rsd-v3i2.49.
- Rodríguez, J., Jiménez, M., Jiménez, A.E., Hernández, J., Dolz, G., Kruger, T. 2009. Ocurrencia de parásitos en aves migratorias (Orden Passeriforme) capturados en la zona sur de Costa Rica [ponencia oral]. XV Congreso Nacional de Medicina Veterinaria "Salud animal para el Bienestar Humano", San José, Costa Rica, 18-20 noviembre, San José, Costa Rica.
- Santoro, M., Alfaro-Alarcón, A., Veneziano, V., Cerrone, A., Latrofa M.S., Otranto, D., Hagnauer, I., Jiménez, M. & Galiero, G. 2016. The white-nosed coati (*Nasua narica*) is a naturally susceptible definitive host for the zoonotic nematode *Angiostrongylus costaricensis* in Costa Rica. *Veterinary parasitology*, 228, 93-95. <http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2016.08.017>

- Torres, A., Blanco, K., Jiménez, M. 2014. Parámetros hematológicos y bioquímicos, e inventario parasitario de tucanes en cautiverio en Costa Rica [ponencia oral]. XXI Congreso Nacional de Medicina Veterinaria “La salud animal y pública”. 11-14 noviembre, San José, Costa Rica.
- Torres-Mejía, A. M., Blanco-Peña, K., Rodríguez, C., Duarte, F., Jiménez-Soto, M., Esperón, F. 2018. Zoonotic Agents in Feral Pigeons (*Columba livia*) from Costa Rica: Possible Improvements to Diminish Contagion Risks. *Vector Borne Zoonotic Dis. Jan;18(1):49-54*. doi: 10.1089/vbz.2017.2131.
- Vega-Benavides, K., Jiménez-Soto, M., Rodríguez-Dorado, E., Hidalgo-Gómez, E., & Campos-Alfaro, G. (2018). Extracción de objeto extraño, por celiotomía en *Chelydra serpentina*. *Ciencias Veterinarias*, 36(3), 41. <https://doi.org/10.15359/rcv.36-3.30>
- Wong, G., Carrillo, E., Sánchez, R., Gutiérrez, G., Jiménez, M. 2010. Mortalidad de monos en el Parque Nacional de Corcovado [ponencia oral]. II Simposio de Primates de Costa Rica: 25-27 de julio, San Ramón, Costa Rica.

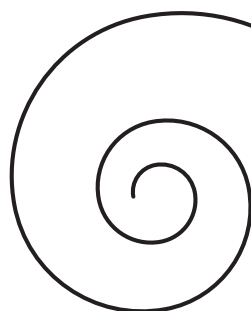


Capítulo V

50 años de investigación en movimiento humano y salud: aportes de la Universidad Nacional

Gerardo A. Araya Vargas¹

¹ Académico de la Escuela de Ciencias del Movimiento Humano y Calidad de Vida, de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Nacional (UNA). También docente-investigador de la Escuela de Educación Física y Deportes de la Facultad de Educación de la Universidad de Costa Rica (UCR). Desde 2000 ejerce la docencia en ambas unidades. Es Bachiller en Educación Física de la UNA, Magister Scientiae en Ciencias del Movimiento Humano de la UCR y Doctor en Educación de la Universidad La Salle de Costa Rica.



Empieza el viaje: ¿cómo se realizó este capítulo?

Se utilizaron motores de búsqueda para rastrear información referente a investigaciones sobre deporte, ejercicio físico o actividad física. Se empleó específicamente herramientas del Sistema de Información Documental de la Universidad Nacional (SIDUNA), el Repositorio Académico Institucional de la Universidad Nacional, además de búsquedas en Google Académico y PubMed. Se filtró las búsquedas de modo que los estudios que se detectaran tuvieran relación con la Universidad Nacional (UNA). Se priorizó trabajos de tesis de grado y posgrado y artículos publicados, con lo cual se dio énfasis a los más recientes. Luego, se procedió a revisar y eliminar duplicados y documentos no correspondientes a los criterios expuestos. Posteriormente, se determinó el aporte de los estudios, según sus características de población investigada, tipo de variables examinadas y resultados. Se eligió un formato narrativo para mostrar estas evidencias de forma resumida y siguiendo una cronología orientada por la evolución de la disciplina de las ciencias del movimiento humano en la UNA.

Primeros aportes: del CENEF al nacimiento de la UNA

Desde antes de su fundación, los gérmenes de la Universidad Nacional realizaron aportes significativos en diversos campos, como el del movimiento humano y la salud. En 1968 se fundó el Centro Nacional de Educación Física (CENEF), como parte de la Escuela Normal Superior, establecida ese mismo año y ubicada en Heredia, y que compartieron instalaciones con la Escuela Normal de Costa Rica, pero con distinta administración.

Tras sortear un periplo de oposiciones, la Asamblea Legislativa aprobó la Ley de Creación de la Escuela Normal Superior (Ley 4202) el 27 de setiembre de 1968. El entonces presidente de la República, José Joaquín Trejos Fernández y don Guillermo Malavassi, ministro de Educación, la firmaron el 12 de octubre de ese año. El diario oficial *La Gaceta* (alcance 11 del número 36) publicó los reglamentos de la Escuela Normal Superior el 12 de febrero de 1969, destacó el reglamento del CENEF, en el apartado 4.

Vale recordar que la Escuela Normal Superior fue creada para atender la gran necesidad, que en aquel momento enfrentaba el país, de formación de docentes y personal docente-administrativo idóneos para la enseñanza media (artículo 1° de la Ley 4202), que no había podido ser solventada por la Universidad de Costa Rica, dada la alta demanda. Por tanto, el CENEF, como parte de la Escuela Normal Superior, fue la primera instancia de educación superior en el país que formó docentes en el campo de la educación física, iniciando además, procesos formales de investigación en ciencias del movimiento humano. Por su parte, la Universidad de Costa Rica empezó formalmente este proceso poco después del CENEF, aunque también en 1969, cuando la Sección de Educación Física y Deportes (departamento administrativo desde 1968), se convierte en dependencia académica de la Escuela de Ciencias y Letras y la Facultad de Educación.

El primer congreso nacional de educación físicaEl cuerpo docente del CENEF y sus primeros estudiantes hicieron aportes importantes para organizar al gremio de docentes de educación física del país. El CENEF y el Ministerio de Educación Pública organizaron el Primer Congreso Nacional de Educación Física, y lo celebraron del 10 al 14 de diciembre de 1972. "Por una juventud

más sana” fue su lema, evidenciando un temprano vínculo entre actividad física y salud en la visión de aquellos pioneros. El congreso se realizó en la Unidad de Prestaciones Sociales Dr. Carlos Durán, en Barrio Vasconia, en San José.

Este evento es muy importante pues fue la primera reunión de docentes de educación física de Costa Rica y de otros países de Centroamérica (específicamente de Nicaragua, Honduras y El Salvador), en una actividad de divulgación académica y científica, dado el contenido de las temáticas abordadas en el congreso, aunque el mismo no fuera diseñado como un evento específico de exposición de resultados de investigación.

Entre las conferencias destacan: deporte para todos, a cargo de Pierre Seurin, quien era el Secretario General de la Federación Internacional de Educación Física; Promoción del deporte social como medio para la formación de nuestros jóvenes, de la prof. Clemencia Conejo, quien era la jefa del CENEF y Actividades físicas para todos al servicio de la sociedad polaca, dictada por el prof. Feliks Kedziorek. También, mediante la dinámica de trabajo grupal, se desarrolló temas de salud, como Problemas psicofísicos que se presentan por la limitación de la educación física (antecedente de líneas posteriores de investigación sobre los procesos psicosociales relativos a salud y educación física), la Promoción de los campos de recreación en el país (otra área que posteriormente se desarrolló con fuerza en el país) y el tema de Las drogas en las instituciones educativas (antecedente de líneas de investigación y extensión orientadas a enfrentar esa problemática, percibida en aquel momento a inicios de los 70, mediante la actividad física). En fin, las temáticas del primer congreso de educación física en el país establecieron pautas significativas para el desarrollo de los procesos de deporte, recreación, ejercicio físico y educación física en Costa Rica.

Segunda etapa: el paradigma de la cultura física

El 15 de febrero de 1973, el presidente de la República José Figueres Ferrer y el ministro de educación Uladislao Gámez Solano firmaron la Ley 5182, creando la Universidad Nacional. Tras este acontecimiento, el CENEF pasó a integrarla junto con otras

dependencias. Pero en 1974 (el 3 de setiembre, sesión 121 del Consejo Universitario) se cambió el nombre al CENEF por el de Escuela de Gimnasia y Cultura Física, integrándola en la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad. Predominaba entonces, el propósito de formar docentes de educación física, con una visión amplia, en el marco del constructo de cultura física, con lo cual se incorporaron contenidos que serán fundamentales para impactar a la sociedad, como la recreación y los rudimentos de la medicina del deporte, además de las temáticas de pedagogía deportiva.

Si bien se encuentran pocas evidencias de publicaciones o trabajos de graduación donde se hubiesen realizado estudios científicos (revisiones narrativas de literatura, principalmente de libros especializados o estudios realizados por académicos durante su formación de grado o posgrado en el extranjero), en esta época se sentaron las bases de campos como la medicina del deporte, la antropometría, la biomecánica, la fisiología del ejercicio, la recreación y otras disciplinas que sobresaldrán a partir de la década de 1980.

Una de las pocas evidencias de investigación aplicada, en este caso en el campo de la recreación, es el estudio del prof. Robert Sabeán Dixon, expuesto en Springfield College, Massachusetts, en 1974, como tesis de maestría. El prof. Sabeán recopiló datos para su estudio en 1972, en 815 estudiantes de 21 colegios de Costa Rica, y les preguntó por sus intereses relacionados a campamentos organizados. Más adelante, el prof. Sabeán hizo otro estudio con colegiales (934 estudiantes de 33 colegios), en 1978, e indagó sobre sus hábitos de recreación y de uso del tiempo libre.

Valga mencionar que esta investigación del prof. Sabeán incluye los primeros datos sobre práctica de actividad física en adolescentes de Costa Rica (de hecho, aún no había datos sobre estos hábitos en ninguna muestra representativa de la población nacional), y reportaron entonces 35 % que no practicaban deporte organizado y apenas 14 % que integraban grupos deportivos (Araya y Claramunt, 2020).

Principios de la medicina del deporte en Costa Rica:

La Escuela de Gimnasia y Cultura Física de la UNA estableció en 1974 la primera cátedra de medicina del deporte del país, gracias al esfuerzo del Dr. Rafael Ángel Brenes Rojas, quien recibió

ese mismo año una capacitación en Canadá, sobre medicina aplicada al fútbol y previamente entre 1970 y 1971, había integrado un grupo enfocado a estudiar problemas médicos en el fútbol nacional (Naranjo y Víquez, 1990).

Para 1975, la Escuela de Gimnasia y Cultura Física celebró el Primer Seminario de Medicina del Deporte, evento pionero de este campo en el país. Expusieron docentes de la Universidad de Berlín, junto al Dr. Aral Fon Verelovich, quien era el director del Instituto de Medicina del Deporte de Berlín. Esta actividad ayudó a sentar las bases de la Sociedad Costarricense de Medicina del Deporte, inscrita en 1978.

Tercera etapa: el paradigma de las ciencias del deporte

La Escuela de Gimnasia y Cultura Física cambió de nombre, en la sesión 369 del Consejo Universitario, el 20 de setiembre de 1979, fue denominada en esta ocasión como Escuela de Ciencias del Deporte, e incorporada a la Facultad de Ciencias de la Salud. Este cambio no fue solo nominal, pues la Escuela de Ciencias del Deporte (ECD) contribuyó al realce del contenido científico de la formación de profesionales en movimiento humano en el país, que si bien se seguía enfocando en el quehacer de docentes de educación física, para primaria y secundaria, abría otros nichos importantes de trabajo en la administración deportiva, la recreación, la preparación deportiva para el rendimiento y la instrucción y promoción de la salud por medio del ejercicio físico.

La ECD organizó el II Seminario de Medicina en el Deporte, del 2 al 6 de abril de 1979, contó nuevamente con el apoyo de expertos alemanes. Poco después, entre el 16 y el 26 de abril, la ECD organizó el Primer Seminario de Pedagogía del Deporte, siempre contando con expertos alemanes. Otro aporte de la actividad científica en la ECD fue el desarrollo del proyecto de extensión Medicina y Deporte, donde se produjeron publicaciones sobre ejercicio físico y salud (Álvarez, 1994a y b), además de ofrecer servicios de evaluación de condición física para la comunidad.

En esta etapa se publicaron en la ECD, los primeros boletines y revistas de divulgación científica, en el campo del movimiento humano, del país. Por ejemplo, el denominado *Boletín de la*

Escuela de Ciencias del Deporte circuló a mediados de los 80 (Sabeán, 1984), mientras que entre 1997 y 1998, la ECD publicó la *Revista Ciencias del Deporte* gracias al impulso de académicos como el prof. Pedro Ureña, la primera revista científica en Costa Rica, que divulgó investigaciones del campo del movimiento humano. Más adelante, en 2004, la ECD empezó a publicar una nueva revista científica dedicada a este ámbito, denominada como *MHSalud*, la cual se mantiene vigente al momento de finalizar esta revisión.

En la década de 1980, se generaron diversos estudios, pero en su mayoría no se publicaron en alguna revista científica (vale recordar que hasta finales de los 90 se contó con una revista especializada en el país, que fue justamente la *Revista Ciencias del Deporte* de la ECD). Muchos de esos estudios fueron trabajos de graduación, tesis de licenciatura o informes de proyectos de investigación y extensión. Pero en su momento, sus resultados fueron importantes para iniciar cambios progresivos en la sociedad costarricense, con respecto a temáticas de recreación, actividad física para la salud e incluso para generar mejoras en los procesos de preparación de deportistas de rendimiento. Quizá con mayor difusión, sus alcances habrían sido mayores, incluso a escala internacional, pues en muchos casos esos trabajos fueron pioneros en sus respectivos ámbitos científicos. Pero un aspecto que debe recalarse es la íntima relación entre investigación y su aplicación para el beneficio de la comunidad, que ha caracterizado a las ciencias del movimiento humano en la UNA.

Surgieron con fuerza en este periodo, campos de investigación como el de la recreación, uso del tiempo libre y actividad física y salud (Carballo y Porras, 1990; Gamboa y Montero, 1992; González y Murillo, 1981; Sisfontes, 1990; Solano y Zúñiga, 1990), biomecánica aplicada a la salud (Longueira, 1984), actividad física y condición de discapacidad (Goñi, 1985), deporte como herramienta para prevenir delincuencia juvenil (Álvarez et al., 1983), aprendizaje y desarrollo motor (Fernández, 1987; Camacho, 1989), estudios en población adulta mayor (Agüero, 1993; Aragón y Salas, 1996; Bolaños y Mora, 1999; Corrales, 1989) y rendimiento físico-deportivo (Alternó y Rodríguez, 1983; González, 1992), entre otros.

En setiembre de 1989 se presenta el informe de la investigación titulada "Sexualidad humana, costumbres y utilización del tiempo libre en estudiantes de primer año de carrera en la

Universidad Nacional”, a cargo de personal académico de la ECD, encabezado por el Dr. Rafael Ruano Mariño, con la colaboración de la prof. Clemencia Conejo y de la prof. Josefa Sancho, junto a la Asociación Demográfica Costarricense, PROFAMILIA y el Ministerio de Cultura, Juventud y Deportes. Se encuestó a 750 estudiantes (todas las unidades académicas de la UNA en aquel momento), este es el primer estudio en el país, que expuso datos sobre el uso del tiempo libre y de la práctica de algún tipo de actividad física, en población estudiantil universitaria.

También en esta época se investigaron los factores de riesgo de enfermedad cardiovascular en la ciudad de Heredia (Naranjo y Víquez, 1990), con lo cual se destacaron datos sobre el estado de sedentarismo en la población hipertensa herediana. Además, en 1995, se presentó una tesis de licenciatura que examinó datos de aptitud física, entre otros, de la población atendida entre 1991 y 1994 en el Instituto Centroamericano de Medicina del Deporte (ICEMEDE), entidad de la ECD que favoreció el desarrollo posterior de la fisiología del ejercicio, la biomecánica aplicada a la salud, además de consolidar la medicina del deporte en el país. Estos son antecedentes importantes de esta línea de estudio en Costa Rica, con grandes implicaciones para la salud pública.

Además, en esta etapa se desarrollaron importantes eventos de divulgación científica en movimiento humano, organizados directamente por la UNA o en colaboración con otras entidades. Destaca la organización del II Congreso Nacional de Educación Física en 1992 y del XIV Congreso Panamericano de Educación Física en 1993, cuya sede fue el Gimnasio Nacional. Luego, en 1999, la ECD fue parte de la organización del III Congreso Nacional de Educación Física, que se destacó por mostrar una gran cantidad de trabajos científicos, como conferencias y carteles, desarrollados, en su mayoría, por jóvenes investigadores e investigadoras.

Entre otros eventos destacados en esta etapa, figura el Seminario Ciencias del Deporte 2000, celebrado en la Sede de la Región Brunca de la UNA, en Pérez Zeledón, en febrero de 2000. Luego, en 2002 la ECD organizó el I Seminario Internacional de Ejercicios y Patologías, en donde se expusieron evidencias científicas sobre el manejo y tratamiento de enfermedades metabólicas y cardiovasculares, mediante el ejercicio. Este evento tuvo otra edición más y fue muy influyente en el quehacer de profesionales de la salud y del movimiento humano, para promover

prescripción de ejercicio basada en evidencia, lo cual favoreció la calidad de vida de la población nacional. Eventos posteriores tomaron su legado y lo extendieron.

Así, en 2003 la ECD coorganizó el V Congreso Nacional y II Congreso Centroamericano de Educación Física, la cual fue su sede, y ese mismo año organizó el Seminario Internacional de Instrucción y Promoción de la Salud mediante el Ejercicio y en 2009 y 2010 celebró las dos primeras ediciones, respectivamente, del Simposio Internacional Actividad Física, Salud y Calidad de Vida. En esta última edición, se presentó la iniciativa Ejercicio en Medicina, del Colegio Americano de Medicina del Deporte, y a fines de ese mismo año, se estableció el capítulo de Costa Rica de la organización Ejercicio es Medicina, esfuerzo liderado por el prof. Felipe Araya y la prof. Inés Revuelta, ambos académicos de la ECD.

Etapa contemporánea: consolidación del paradigma de las ciencias del movimiento humano

En 2010, la Asamblea de la Escuela de Ciencias del Deporte aprobó cambiar el nombre a la unidad por el de Escuela de Ciencias del Movimiento Humano y Calidad de Vida (sesión 05-2010 del viernes 19 de marzo y acuerdo FCSA-ECD-AE-006-2010), se tuvieron luego las siglas CIEMHCAVI. De esta forma, la unidad académica se mantenía en la vanguardia de la promoción de las ciencias del movimiento humano en el país, y se contribuyó a consolidar un enfoque más integral de este campo, junto con otras entidades del sector, como el Instituto Costarricense del Deporte y la Recreación (ICODER), la Red Costarricense de Actividad Física (RECAFIS), el Comité Olímpico Nacional (CON) y la Escuela de Educación Física y Deportes de la Universidad de Costa Rica. Con esta última logró establecer un programa de doctorado en ciencias del movimiento humano, que inició en 2012, pionero en la región de Centroamérica y el Caribe, con enfoque en la formación de investigadores(as) en este campo.

En esta etapa se ha dado un gran crecimiento de la producción científica en los tópicos de actividad física, ejercicio, deporte,

recreación y salud en la UNA, sin perder la característica aplicación de las evidencias en el quehacer cotidiano, especialmente en la oferta de servicios a la comunidad. Los estudios publicados recientemente por el personal académico de la CIEMHCAVI-UNA contribuyen a generar conocimiento aplicable, en los ámbitos de la salud, la pedagogía y el rendimiento físico-deportivo.

Aportes en investigación sobre actividad física y salud en infancia y adolescencia:

Recientemente, en el campo de la salud, se han indagado los efectos de intervenciones para promover actividad física en niños y niñas de Centroamérica (Villalobos *et al.*, 2022), además de examinar diversos factores que pueden explicar los hábitos de actividad física de la población escolar (Álvarez, 2016a, 2016b; Álvarez *et al.*, 2020; Álvarez *et al.*, 2021; Herrera-González *et al.*, 2017) o generando instrumentos para la evaluación de este hábito en esta población (Morera-Castro *et al.*, 2018). Un aporte fundamental de esta línea de investigación ha sido la demostración del vínculo entre los hábitos de actividad física desde tempranas edades y el desempeño académico escolar, además de la relación entre el desarrollo perceptual-motor y el desarrollo integral desde la infancia y adolescencia (Álvarez, 2015; Herrera *et al.*, 2012; Herrera-González *et al.*, 2015).

Programas y proyectos como la Escuela Deportiva Pedagógica (EDP) y el Programa Psicomotricidad Infantil (PSICOMI), lideran desde la UNA la aplicación de las ciencias del movimiento humano al ámbito pedagógico, con especial atención a los grupos preescolares y escolares, mediante servicios de evaluación psicomotriz y atención temprana.

Incluso, PSICOMI ha trascendido las fronteras del país, realizó procesos de educación continua en otras naciones de Centroamérica y lanzó en octubre de 2016, la Red Centroamericana de investigación aplicada en niñez y adolescencia en movimiento humano y salud (REDCIMOV), que ha promovido diversas investigaciones y acciones de promoción de actividad física y salud en la niñez de la región, parte de las cuales fueron expuestas en el Simposio Internacional Investigación en Niñez y Movimiento Humano en Tiempos de Pandemia, del 20 al 22 de octubre de 2021 mediante plataformas virtuales, organizado desde CIEMHCAVI-UNA en plena pandemia por covid-19.

Aportes en investigación sobre beneficios de la actividad física para la salud en poblaciones con o sin patologías:

Un campo de estudio muy fuerte ha sido el de los beneficios del ejercicio sobre el funcionamiento cognitivo en poblaciones sanas, así como en personas afectadas por alguna condición clínica (Salas *et al.*, 2017). También se han generado estudios con la potente técnica de metaanálisis, resumiendo diversas evidencias científicas para establecer consenso sobre los beneficios del ejercicio en condiciones de enfermedades crónicas no transmisibles (Jiménez-Castro *et al.*, 2017).

El Centro de Estudios para el Desarrollo del Rendimiento y la Salud (CEDERSA), junto al Programa de Ciencias del Ejercicio y la Salud (PROCESA), apoyan diversas actividades de investigación, en conjunto con servicios a la comunidad como: evaluaciones funcionales (Centro de Investigación y Diagnóstico en Salud y Deporte, CIDISAD), acondicionamiento físico para la salud, rehabilitación cardiopulmonar, ejercicio para personas con cáncer, rehabilitación integral de personas con traumas craneoencefálicos y para población con enfermedades crónicas no transmisibles, manejo de sobrepeso y obesidad, rehabilitación de lesiones deportivas (Centro de Rehabilitación de Lesiones Deportivas) o preparación para el deporte. La investigación que se revisa y produce en CIEMHCAVI-UNA, fundamenta estas actividades y contribuye a mejorar los servicios que se brinda a la comunidad.



Aportes en investigación sobre actividad física y salud en población adulta mayor

Una población que ha sido blanco importante de la investigación en CIEMHCAVI-UNA son las personas adultas mayores (Campos Salazar *et al.*, 2019; Rodríguez-Méndez *et al.*, 2021; Solano-Mora *et al.*, 2018). Los resultados de esta línea de investigación fundamentan intervenciones aplicadas en esta población en las instalaciones de la UNA, además de apoyar la práctica profesional de personal a cargo de grupos de ejercicio para personas adultas mayores, que funcionan en distintas zonas del país. Actualmente el Programa Movimiento para la Vida (MOVI) lidera

estos procesos, aplicando las ciencias del movimiento humano al servicio de la comunidad adulta mayor.

Aportes en investigación sobre actividad física y enfermedades cardiovasculares

Otra área muy importante de investigación que se ha desarrollado en la UNA es la relación entre actividad física y funcionamiento cardiovascular, particularmente se enfoca en los beneficios del ejercicio como medio para rehabilitar a personas afectadas por enfermedades cardiovasculares (Araya-Ramírez *et al.*, 2021; Chacin-Suárez *et al.*, 2021; Trejos-Montoya, 2022).

Esta temática ha generado mucha investigación desde la UNA, pero quizá lo más relevante ha sido la aplicación que se ha podido dar a esas evidencias, mediante la implementación de programas y proyectos orientados a promover el ejercicio en poblaciones con condiciones especiales de salud y en lo particular con el trabajo que se realiza en el Centro de Rehabilitación Cardiovascular en CIEMHCAVI-UNA, que se deberá abordar en otro capítulo.

Aportes en investigación sobre actividad física y salud en población en condición de discapacidad

Otra población muy estudiada desde la UNA han sido las personas en condición de discapacidad, se ha hecho énfasis en su inclusión social mediante el deporte y el ejercicio (Ozols, 2020; Viquez *et al.*, 2020). Y así como se ha señalado para otros fenómenos abordados desde la UNA, la investigación en esta población ha ido de la mano con la implementación de programas y proyectos que brindan servicios a la comunidad, mediante actividad física adaptada y deporte adaptado.

Es el caso de AFISADIS (Actividad Física Adaptada, Salud y Discapacidad) y NADI (Natación para Personas con Discapacidad Intelectual), herederos del trabajo realizado en CIEMHCAVI-UNA con estas poblaciones, desde la década de 1980. Ha sido pionero el prof. Fabio Goñi Fonseca, en 1981, cuando formó un grupo de natación para jóvenes con discapacidades diversas (síndrome de Down, retardo mental, parálisis, no videntes, etc.).

Incluso, desde inicios de los 70, docentes y estudiantes de la entonces Escuela de Gimnasia y Cultura Física apoyaron la organización de los Juegos Especiales, organizados por la antigua Dirección General de Educación Física y Deportes, que brindaban oportunidad de práctica deportiva para estudiantes en condición de discapacidad. Una muestra más de cómo las ciencias del movimiento humano cultivadas en la UNA han estado al servicio de la comunidad.

Aportes en investigación sobre pedagogía, actividad física y salud

En el rango de la pedagogía, se han indagado fenómenos como la autopercepción y la competencia motora (Jiménez-Díaz *et al.*, 2018a, 2018b; Jiménez-Díaz *et al.*, 2020), que contribuyen a mejorar prácticas docentes en educación física, para promover hábitos de actividad física, desde tempranas edades hasta la adultez.

Además, se han aportado evidencias para fundamentar novedosas propuestas pedagógicas para la promoción de actividad física y salud en escolares (Fonseca *et al.*, 2021), durante la pandemia por covid-19 (Vargas-Hernández *et al.*, 2021) y en población con alguna condición clínica (Salas-Cabrera, 2017).

Asimismo, se ha investigado la influencia de factores psicosociales como el estrés, en el rendimiento académico y el efecto moderador del ejercicio (Arce *et al.*, 2020) y también se ha indagado sobre factores motivacionales relacionados con las lecciones de educación física (Márquez-Barquero *et al.*, 2019).

Aportes en investigación sobre rendimiento físico-deportivo

En el ámbito del rendimiento físico-deportivo se han sometido a prueba superficies de juego que podrían afectar el desempeño o incluso ser riesgosas para deportistas (Ávalos-Guillén *et al.*, 2017).

Además, se han examinado factores motivacionales que podrían explicar la práctica de deportistas amateur (Rosales-Obando *et al.*, 2018), así como variables clave que afectan el rendimiento

deportivo (Ugalde-Ramírez y Rodríguez-Porras, 2021) y de los procesos de detección y seguimiento de talentos deportivos (Pino-Ortega *et al.*, 2021).

Y se ha indagado la efectividad de métodos novedosos de recuperación para deportistas (Sánchez-Ureña *et al.*, 2017), estrategias de entrenamiento avanzado (Oliva-Lozano *et al.*, 2022; Rico-González *et al.*, 2020; Vásquez-Bonilla *et al.*, 2021), o medios para la detección de daño muscular o renal, luego de un esfuerzo físico importante (Gutiérrez-Vargas *et al.*, 2017; Rojas-Valverde, Gutiérrez-Vargas *et al.*, 2021; Rojas-Valverde, Sánchez-Ureña *et al.*, 2021).

Conclusiones

La UNA ha contribuido a lo largo de su historia significativamente al desarrollo de la investigación en ciencias del movimiento humano, de la mano de la aplicación de sus evidencias para el bienestar de la población. Esta tarea sigue vigente y se ha extendido, especialmente en la década previa a esta revisión, con lo cual ha enfrentado nuevos desafíos.

Bibliografía

- Agüero Vargas, J. C. (1993). *Cambios fisiológicos en personas mayores de 60 años inducidos por un programa de actividad física*. [Tesis de Licenciatura sin publicar]. Escuela de Ciencias del Deporte, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional, Costa Rica.
- Alterno Foster, E. y Rodríguez Barrantes, F. (1988). *Determinación de la composición corporal y el somatotipo de los jugadores de baloncesto del campeonato costarricense de primera división de 1987*. [Tesis de Licenciatura sin publicar]. Escuela de Ciencias del Deporte, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional, Costa Rica.
- Álvarez, C. (1994a). *Prescripción de ejercicio para sedentarios*. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica: Proyecto Medicina y Deporte.
- Álvarez, C. (1994b). *Taller de estiramientos contraindicados*. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica: Proyecto Medicina y Deporte.
- Álvarez Bogantes, C. (2015). Factors that influence in sedentary lifestyle of students of fourth cycle of a public high school. *MHSalud: Revista en Ciencias del Movimiento Humano y Salud*, 12(1). <https://doi.org/10.15359/mhs.12-1.1>
- Álvarez Bogantes, C. (2016a). Entendiendo los factores que determinan la actividad física en el entorno escolar desde la perspectiva de los niños y niñas. *MHSalud*, <http://dx.doi.org/10.15359/mhs.13-1.2>
- Álvarez Bogantes, C. (2016b). Efectividad del programa ecológico "Saltando por su salud" en la promoción de la actividad física y la auto-eficacia en niños y niñas escolares de tercer grado. *Revista Ensayos Pedagógicos*, 11(1), 147-169. <https://doi.org/10.15359/rep.11-1.8>
- Álvarez B., C. E.; Herrera-Monge, M. F.; Herrera-González, E.; Villalobos-Viquez, G. y Araya-Vargas, G. A. (2020). Sobrepeso, obesidad, niveles de actividad física y autoestima de la niñez centroamericana: un análisis comparativo entre países (Overweight, obesity, physical activity levels, and self-esteem in Central American children: comparative analysis between countries). *Retos*, 37, 238-246. <https://doi.org/10.47197/retos.v37i37.71680>

- Álvarez Bogantes, C., Herrera-Monge, M., Herrera-González, E., & Araya-Vargas, G. (2021). Investigation of variables that determine levels of self-esteem in Central American schoolchildren: A binary logistic regression model. *MHSalud: Revista en Ciencias del Movimiento Humano y Salud*, 18(2), 1-12. <https://doi.org/10.15359/mhs.18-2.2>
- Álvarez, X.; Calvo, L.; Castro, B.; Corrales, M. A.; Elizondo, M. E.; Gamboa, C.; Huertas, C.; Paniagua, F.; Solís, A., Soto, M.; Vargas, D.; Vargas, I. y White, D. (1983). *Proyecto. Adaptación social a través del deporte y la recreación en el cantón central de Puntarenas*. [Proyecto de Servicio Social para optar al Bachillerato en la Enseñanza de la Educación Física sin publicar]. Escuela de Ciencias del Deporte, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional, Costa Rica.
- Aragón Soto, L. y Salas Alpízar, X. (1996). *Factores de Envejecimiento Físico-Funcional y Psicosocial que representan las Personas Mayores de 60 a 85 años pertenecientes al Cantón*. [Tesis de Licenciatura sin publicar]. Escuela de Ciencias del Deporte, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional, Costa Rica.
- Araya-Ramírez, F., Moncada-Jiménez, J., Grandjean, P. W., & Franklin, B. A. (2021). Improved Walk Test Performance and Blood Pressure Responses in Men and Women Completing Cardiac Rehabilitation: Implications Regarding Exercise Trainability. *American Journal of Lifestyle Medicine*. <https://doi.org/10.1177/1559827621995129>
- Araya Vargas, G. y Claramunt Garro, M. (2020). *Actividad física en Costa Rica, antecedentes históricos y revisión de sus evidencias científicas en el país*. Ministerio de Salud. <https://hdl.handle.net/10669/82866>
- Arce Varela, E.; Azofeifa-Mora, C.; Morera-Castro, M. y Rojas-Valverde, D. (2020). Asociación entre estrés académico, composición corporal, actividad física y habilidad emocional en mujeres universitarias. *MHSalud*, 17(2). <https://doi.org/10.15359/mhs.17-2.5>
- Ávalos-Guillén, J. C.; Gutiérrez-Vargas, R.; Araya-Vargas, G.; Sánchez-Ureña, B.; Gutiérrez-Vargas, J. C. y Rojas-Valverde, D. (2017). Effects of artificial turf and natural grass on physical and technical performance of professional soccer players. Efectos del césped artificial y la grama natural sobre el rendimiento físico y técnico de los jugadores

- profesionales de fútbol. *Revista MHSalud*, 14(1 setiembre-enero, 2017). doi: <http://dx.doi.org/10.15359/mhs.14-1.1>
- Benavides L., W. (1995). *Aptitud física, género, edad y actividad física de los usuarios del Instituto Centroamericano de Medicina del Deporte durante los años 1991-1994*. [Tesis de Licenciatura sin publicar]. Escuela de Ciencias del Deporte, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional, Costa Rica.
- Bolaños Barrientos, A. I. y Mora Mora, M. (1999). *Actividad Física Recreativa y Estado Emocional que presentan los Adultos Mayores de 55 a 75 años de dos Grupos Gerontológicos del Área Central (San José-Heredia)*. [Tesis de Licenciatura sin publicar]. Escuela de Ciencias del Deporte, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional, Costa Rica.
- Camacho Araya, T. (1989). *Determinación de la objetividad y la confiabilidad de la prueba de coordinación corporal (Körperkoordinationstests für Kinder, KTK) en niños de 5 1/2 a 9 años de edad*. [Tesis de Licenciatura sin publicar]. Escuela de Ciencias del Deporte, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional, Costa Rica.
- Campos Salazar, C., Chacón Araya, Y., Solano Mora, L., Brenes Camacho, G., & Moncada Jiménez, J. (2019). Normative values for anthropometric, adiposity, and handgrip strength in Costa Rican adults aged 60 to 110 years old. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 28(2), 239-248. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rcsp/v28n2/1409-1429-rcsp-28-02-239.pdf>
- Carballo Avendaño, M. E. y Porras Vindas, V. (1990). *Determinación de las formas de utilización del tiempo libre en maestros de 30 a 40 años pertenecientes a la Región Central de San José*. [Tesis de Licenciatura sin publicar]. Escuela de Ciencias del Deporte, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional, Costa Rica.
- Chacin-Suárez, A., Grace, S. L., Anchique-Santos, C., Supervia, M., Turk-Adawi, K., Britto, R. R., Scantlebury, D. C., Araya-Ramírez, F., González, G., Benaim, B., Fernández, R., Hol, J., Burdiat, G., Salmón, R., Lomeli, H., Mamataz, T., Medina-Inojosa, J. R., & López-Jiménez, F. (2021). Cardiac rehabilitation availability and characteristics in Latin America and the Caribbean: A Global Comparison. *American Heart Journal*, 240, 16-27. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2021.05.010>

- Corrales Araya, M. A. (1989). *Utilización del tiempo libre en el anciano institucionalizado del área central del país (San José, Heredia, Alajuela y Cartago)*. [Tesis de Licenciatura sin publicar]. Escuela de Ciencias del Deporte, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional, Costa Rica.
- Fernández Sagot, H. (1987). *Comparación de la prueba Goodenough-Harris y la prueba para diagnóstico de imagen corporal en niños de pre-escolar, primero y segundo grados entre los cinco y medio a nueve años de edad*. [Tesis de Licenciatura sin publicar]. Escuela de Ciencias del Deporte, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional, Costa Rica.
- Fonseca Schmidt, H.; Álvarez Bogantes, C. y Herrera González, E. (2021). Sistematización de la creación del modelo escuelas en movimiento: Intervención en salud escolar. *MHSalud: Revista en Ciencias del Movimiento Humano y Salud*, 18(1), 1-16. <https://doi.org/10.15359/mhs.18-1.3>
- Gamboa Martínez, C. y Montero Beita, A. (1992). *Estudio para determinar las necesidades recreativas de los trabajadores de la Universidad Nacional*. [Tesis de Licenciatura sin publicar]. Escuela de Ciencias del Deporte, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional, Costa Rica.
- González Barrantes, H. (1992). *Programación de la carga de entrenamiento aeróbico de los futbolistas de sexta división de Heredia, Saprissa, Cartago, Palmares y Uruguay*. [Tesis de Licenciatura sin publicar]. Escuela de Ciencias del Deporte, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional, Costa Rica.
- González R., H. y Murillo M., B. R. (1981). *La recreación en las regiones Central y Huetar*. [Trabajo de investigación para optar al Bachillerato en Educación Física para I y II ciclos, sin publicar]. Escuela de Ciencias del Deporte, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional, Costa Rica.
- Goñi Fonseca, F. (1985). *Los efectos relativos de 2 procedimientos de instrucción (inductivo y deductivo) en niños disléxicos con problemas de coordinación motora*. [Tesis de Licenciatura sin publicar]. Escuela de Ciencias del Deporte, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional, Costa Rica.
- Gutiérrez-Vargas, R.; Ugalde-Ramírez, J. A.; Rojas-Valverde, D.; Salas-Cabrera, J.; Rodríguez-Montero, A. & Gutiérrez-Vargas, J. C. (2017). La termografía infrarroja como

- herramienta efectiva para detectar áreas musculares dañadas después de correr una maratón. *Revista de la Facultad de Medicina*, 65(4), 601-607. <https://doi.org/10.15446/revfacmed.v65n4.60638>
- Herrera-González, E., Araya-Vargas, G., Fernández-Sagot, H., Morera-Castro, M., & Fonseca-Schmidt, H. (2015). The Early Diagnosis of Boys and Girls in Academic Risk Using the Perceptual-Motor Diagnostic System: A Longitudinal Retrospective Study of Evidences of its Effectiveness. *Revista Electrónica Educare*, 19(3), 1-14. <https://doi.org/10.15359/ree.19-3.1>
- Herrera González, E.; Delgado Tenorio, L.; Fonseca Schmidt, H. y Vargas Ramírez, P. (2012). Factores socio-afectivos relacionados con las dificultades escolares en niñas y niños "estrella" del programa psicomotricidad e intervención. *Revista MHSalud*, 9(1, Enero-Julio). <https://doi.org/10.15359/mhs.9-1.2>
- Herrera-González, E.; Morera-Castro, M.; Araya-Vargas, G.; Fonseca-Schmidt, H. y Vargas-Ramírez, M. P. (2017). Análisis del estado físico y psicológico de la población escolar del cantón central de Heredia, Costa Rica. *Revista MHSalud*, 13(2, febrero-agosto, 2017). doi: <http://dx.doi.org/10.15359/mhs.12-2.7>
- Jiménez-Castro, E., Blanco-Romero, L., Araya-Vargas, G., & Solano-Mora, L. (2017). Meta-analysis on the Physiological Benefits and Quality of Life of Muscle Training in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *J Pulm Respir Med*, 7(4), 422. doi: 10.4172/2161-105X.1000422
- Jiménez-Díaz, J., Morera-Castro, M., & Araya-Vargas, G. (2018a). Relationship between actual motor competence and self-perception in adults. *European Journal of Human Movement*. 40, 122-135. <https://www.eurjhm.com/index.php/eurjhm/article/view/452>
- Jiménez-Díaz, J.; Morera-Castro, M. y Araya-Vargas, G. (2018b). Validez y confiabilidad del "Perfil de Autopercepción para Adultos" en el ámbito educativo. *ΣΟΦΙΑ-SOPHIA, Revista de Investigaciones en Educación*, 14(2), 73-83.
- Jiménez-Díaz, J., Morera-Castro, M., & Araya-Vargas, G. (2020). Mejorar la competencia motriz no predice un cambio en la autopercepción en adultos. *Ciencias de la Actividad Física UCM*, 21(2), 1-13. <https://doi.org/10.29035/rcaf.21.2.7>

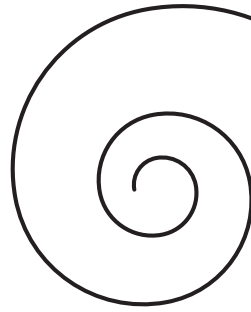
- Longueira, M. N. (1984). *Alteraciones posturales en escolares de 8 a 10 años*. [Tesis de Licenciatura sin publicar]. Escuela de Ciencias del Deporte, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional, Costa Rica.
- Márquez-Barquero, M.; Azofeifa-Mora, C. y Rodríguez-Méndez, D. (2019). Comparación de las actitudes de las personas adolescentes según el sexo y el nivel escolar hacia la clase de educación física. *Innovaciones Educativas*, 21(30), 13-24. doi: 10.22458/ie.v21i30.2479
- Morera-Castro, M., Jiménez-Díaz, J., Araya-Vargas, G. y Herrera-González, E. (2018). Cuestionario pictórico de la actividad física infantil: diseño y validación. *Revista Actualidades Investigativas en Educación*, 18(2), 1-28. <https://doi.org/10.15517/aie.v18i2.33127>
- Naranjo M., G. y Viquez M., G. (1990). *Factores de riesgo en personas hipertensas de treinta a cincuenta años de la ciudad de Heredia*. [Tesis sin publicar]. Escuela de Ciencias del Deporte, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional, Costa Rica.
- Oliva-Lozano, J. M., Gómez-Carmona, C. D., Rojas-Valverde, D., Fortes, V., & Pino-Ortega, J. (2022). Effect of training day, match, and length of the microcycle on the worst-case scenarios in professional soccer players. *Research in Sports Medicine (Print)*, 30(4), 425-438. <https://doi.org/10.1080/15438627.2021.1895786>
- Ozols, M. A. (2020). *Manual inclusivo. Guía para el trabajo con estudiantes con discapacidad que son incluidos en las clases regulares de Educación Física*. Programa AFISADIS. CIEMHCAVI. Universidad Nacional.
- Pino-Ortega, J., Rojas-Valverde, D., Gómez-Carmona, C. & Rico-González, M. (2021). Training Design, Performance Analysis and Talent Identification –A Systematic Review about the Most Relevant Variables through the Principal Component Analysis in Soccer, Basketball and Rugby. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 18(5), 2642. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052642>
- Rico-González, M., Pino-Ortega, J., Nakamura, F. Y., Arruda Moura, F., Rojas-Valverde, D., & Los Arcos, A. (2020). Past, present, and future of the technological tracking methods to assess tactical variables in team sports: A systematic review. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part*

- P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 234(4), 281-290. <https://doi.org/10.1177/1754337120932023>
- Rodríguez-Méndez, D.; Solano-Mora, L.; Corrales Araya, M. A.; Murillo-Campos, E. y Cortés-Gómez, B. (2021). Interrelaciones entre el sentido de la vida, la actividad física, la red de apoyo social, la edad y el género en adultos mayores. *Población y Salud en Mesoamérica*, 19(1). doi:10.15517/psm.v19i2.47112
- Rojas-Valverde, D., Gutiérrez-Vargas, R., Sánchez-Ureña, B., Gutiérrez-Vargas, J. C. & Priego-Quesada, J. (2021). Relationship between skin temperature variation and muscle damage markers after a marathon performed in a hot environmental condition. *Life*, 11(8). 10.3390/life11080725
- Rojas-Valverde, D., Sánchez-Ureña, B., Crowe, J., Timón, R., & Olcina, G. J. (2021). Exertional rhabdomyolysis and acute kidney injury in endurance sports: A systematic review. *European Journal of Sport Science*, 21(2), 261-274. <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1746837>
- Rosales-Obando, D.M.; Araya-Vargas, G. y Rivas-Borbón, O.M. (2018). Motivos de participación en una carrera de fondo, según edad, sexo y experiencia deportiva en corredores aficionados. *Pensar en Movimiento: Revista de Ciencias del Ejercicio y la Salud*, 16(1), 1-18. <https://doi.org/10.15517/pensarmov.v16i1.29089>
- Sabean D., R. S. (1974). *A survey of the interests of Costa Rican adolescents toward organized camping*. [Tesis para Master of Science]. Department of Community Recreation and Outdoor Education, Springfield College, Springfield, Massachusetts.
- Sabean D., R. S. (1984). El joven costarricense y su vida de diversión y recreación. *Boletín de la Escuela de Ciencias del Deporte, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional*, 2(2), 33-51.
- Salas-Cabrera, J. (2017). Mediación biopedagógica de salud y vida, casos de enfermedad cardiovascular. *Revista Electrónica Educare*, 21(2), 1-27. <https://dx.doi.org/10.15359/ree.21-2.1>
- Salas Cabrera, J.; Herrera González, E.; Garcés Fayos Ruiz, E. J.; Herrera Monge, M. F.; Brenes Bolívar, J. y Monge Ramos, J. (2017). Efecto del ejercicio físico sobre la memoria a corto plazo y velocidad en el procesamiento de información de un paciente que sufrió trauma craneoencefálico: un caso de estudio.

Cuadernos de Psicología del Deporte, 17(2), 131-138. http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1578-84232017000200014&lng=es&tlng=es.

- Sánchez-Ureña, B., Martínez-Guardado, I., Crespo, C., Timón, R., Calleja-González, J., Ibáñez, S. J., & Olcina, G. (2017). The use of continuous vs. intermittent cold water immersion as a recovery method in basketball players after training: a randomized controlled trial. *The Physician and Sportsmedicine*, 45(2), 134-139. <https://doi.org/10.1080/00913847.2017.1292832>
- Sisfontes Guilarte, P. (1990). *Las metodologías didácticas de Campamentos y su efecto en el desarrollo de Destrezas Socioafectivas en niños escolares de II Ciclo de la Provincia de Heredia*. [Tesis de Licenciatura sin publicar]. Escuela de Ciencias del Deporte, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional, Costa Rica.
- Solano Martínez, A. y Zúñiga Vargas, I. (1990). *Estudio para determinar los intereses recreativos de los sujetos que trabajan en la industria de productos alimenticios del conglomerado central del país*. [Tesis de Licenciatura sin publicar]. Escuela de Ciencias del Deporte, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional, Costa Rica.
- Solano-Mora, L., Araya-Vargas, G., Jiménez-Torres, J., & Moncada-Jiménez, J. (2018). Gender, Adiposity and Age as Predictors of Quality of Life in Costa Rican University-Retirees. *International Journal of Prevention and Treatment*, 7(1), 14-20. doi: 10.5923/j.ijpt.20180701.03
- Trejos-Montoya, J. A. (2022). Ejercicio aeróbico versus concurrente sobre la interleucina-6 en pacientes con enfermedad arterial coronaria: Una revisión sistemática. *MHSalud*, 19(1), 55-70. <https://dx.doi.org/10.15359/mhs.19-1.5>
- Ugalde-Ramírez, J. A. y Rodríguez-Porras, L. (2021). Indicadores técnico-tácticos que influyeron en el rendimiento deportivo de los equipos en el mundial femenino 2019. *Revista Iberoamericana de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 10(2), 112-125. <https://doi.org/10.24310/riccafd.2021.v10i2.11828>
- Vargas-Hernández, D. M.; Salas-Cabrera, J.; Anchía-Umaña, I.; Durán-Artavia, J. y Rojas-Valverde, D. (2021). Efecto de un programa de educación virtual y pausas activas sobre los hábitos saludables en el personal de Recursos Humanos del Ministerio de Educación Pública durante la pandemia

- COVID-19. *Revista Electrónica Calidad en la Educación Superior*, 12(2), 103-125. <https://doi.org/10.22458/caes.v12i2.3387>
- Vásquez-Bonilla, A. A., Rojas-Valverde, D., González-Custodio, A., Timón, R., & Olcina, G. (2021). Tent versus Mask-On Acute Effects during Repeated-Sprint Training in Normobaric Hypoxia and Normoxia. *Journal of Clinical Medicine*, 10(21), 4879. <https://doi.org/10.3390/jcm10214879>
- Villalobos Víquez, G., Álvarez Bogantes, C., Araya Vargas, G., & Ambulo Arosemena, G. (2022). Efecto de la intervención “escuelas activas móviles” en tiempos de pandemia sobre la percepción de la autoeficacia, disfrute y el nivel de actividad física en la niñez costarricense y panameña. *MHSalud: Revista en Ciencias del Movimiento Humano y Salud*, 19(2), 1-19. <https://doi.org/10.15359/mhs.19-2.12>
- Víquez Ulate, Fabián, Quirós Carrión, Sugey, Rodríguez-Méndez, Diego, & Solano Mora, Luis. (2020). La inclusión de personas con discapacidad en una escuela multideportiva: Efecto de las actitudes hacia la discapacidad en niños, niñas, jóvenes, padres, madres y personal de instrucción. *MHSalud*, 17(2), 38-53. <https://dx.doi.org/10.15359/mhs.17-2.3>

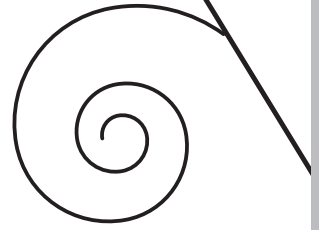


Capítulo VI

Aportes científicos de la universidad nacional en el área de la rehabilitación cardiaca en los últimos 20 años

Felipe Araya Ramírez¹

¹ El Dr. Felipe Araya Ramírez es profesor catedrático de la Escuela de Ciencias del Movimiento Humano y Calidad de Vida y fue coordinador del proyecto Centro de Rehabilitación Cardiovascular durante 11 años. Actualmente, es Decano de la Facultad de Ciencias de la Salud y miembro del Colegio Americano de Medicina del Deporte. El Dr. Araya tiene un doctorado en Kinesiología (Ph.D.) del Departamento de Kinesiología de "Auburn University" en Alabama, Estados Unidos.



Introducción

Los inicios en cuanto a los aportes científicos de la rehabilitación cardíaca en la Universidad Nacional se dan en el 2002 con el trabajo de tesis de maestría de los académicos M.Sc. Luis Blanco Romero y el Dr. Jorge Salas Cabrera de la Escuela de Ciencias del Deporte, quienes en ese momento eran estudiantes de la Maestría en Salud Integral y Movimiento Humano (MSIMH). Posteriormente, en 2004, nace el proyecto de rehabilitación cardíaca en 2004 dentro del Programa de Ciencias del Ejercicio y la Salud (PROCESA), con el objetivo de tener un proyecto que ayudará a contribuir con la rehabilitación de pacientes que padecen enfermedades del corazón y vasos sanguíneos, llamadas enfermedades cardiovasculares (ECV). A nivel global, las ECV son unas de las principales causas de muerte con un 32 % del total de fallecimientos. El infarto agudo de miocardio (IAM) y los accidentes cerebrovasculares son las ECV más prevalentes, tanto en los países de bajo y mediano ingreso económico (World Health Organization, 2021). En nuestro país, estas enfermedades son el 25 % del total de fallecimientos por esta causa, la enfermedad arterial coronaria es la más frecuente con 63 % y el IAM con 38,5 % (Ministerio de Salud, 2014). Estas enfermedades se pueden prevenir y mejorar tratando los factores de riesgo coronarios como el fumado, la hipertensión, la obesidad, la glucosa elevada, dieta no saludable o la inactividad física (Mozaffarian *et al.*, 2016). Los pacientes con ECV que logren sobrepasar a un evento cardíaco van a necesitar de un programa de rehabilitación cardíaca que incluya un plan de ejercicios físico

monitoreado por diferentes profesionales de la salud (Balady *et al.*, 2007; Leon *et al.*, 2005; Piepoli *et al.*, 2014).

La rehabilitación cardiaca es una intervención multifásica diseñada para mejorar la capacidad cardiovascular, psicológica y social del paciente con ECV (León *et al.*, 2005). Investigaciones científicas con pacientes con ECV que han realizado programas de rehabilitación cardiaca han reportado que disminuyen la mortalidad, aumentan la capacidad del corazón, mejoran la presión arterial y la calidad de vida de los pacientes. (Anderson *et al.*, 2016; Araya-Ramírez *et al.*, 2010; Araya-Ramírez *et al.*, 2013; Atehortúa, Gallo, Rico, & Durango, 2011; Franklin, Lavie, & Squires, 2013; Gupta, Sanderson, & Bittner, 2007; Kavanagh *et al.*, 2008; Lavie & Milani, 1995; Listerman, Bittner, Sanderson, & Brown, 2011; Piepoli *et al.*, 2014; Taylor *et al.*, 2004; Williams *et al.*, 2006; Wong, García, García, & Carrillo, 2011).

La rehabilitación cardiaca comprende tres fases que los pacientes con ECV deberían de realizar para obtener los mayores beneficios en su salud. La primera fase es la hospitalaria, que comienza de 1 a 2 días después de que un paciente sufre un evento cardiaco como un IAM o después de un procedimiento como un cateterismo o con la implantación de un "stent" o una cirugía de puente-aorto-coronario. Esta fase dura de 3 a 4 días y consiste en cambios de posición, estiramientos, bañarse, pequeñas caminatas dentro del hospital y sesiones de educación. La segunda fase es la ambulatoria que inicia de 1 a 2 semanas después del que el paciente ha sido dado de alta por el médico de la fase hospitalaria. El programa ambulatorio dura de 2 a 12 semanas y consta de 36 sesiones de ejercicio aeróbico controlado y monitoreado con una telemetría, por al menos tres veces por semana a una intensidad baja a moderada y con una duración de ejercicio continuo de 20 y hasta 45 minutos por sesión. También, la fase ambulatoria comprende una evaluación médica inicial, manejo nutricional, psicológico y entrenamiento físico, así como sesiones de educación, sobre temas como el manejo del colesterol, hipertensión arterial, diabetes mellitus, obesidad, fumado e inactividad física. Cuando el paciente completa la fase ambulatoria, puede ingresar a la tercera fase que es de mantenimiento o seguimiento con la intención de que el paciente lo ejecute a lo largo de su vida. Dicha fase incluye ejercicio físico aeróbico sin telemetría, pero con monitoreo de la frecuencia cardiaca, de los síntomas e incluye entrenamiento con pesas para aumentar la fuerza y resistencia

muscular (American Association of Cardiopulmonary Rehabilitation, 2013; American College of Sports Medicine, 2018).

El propósito de este capítulo es mostrar los aportes de investigaciones científicas generadas por los académicos y estudiantes de la Escuela de Ciencias del Movimiento Humano y Calidad de Vida (CIEMHCAVI) en rehabilitación cardíaca realizada en los últimos 20 años en la Universidad Nacional. Se presentarán los beneficios fisiológicos y psicológicos de estas investigaciones en los pacientes con ECV que participaron del proyecto de rehabilitación cardíaca ambulatoria, o que participaron en investigaciones realizadas como parte de sus trabajos de tesis y que fueron publicados en revistas indexadas.

Desarrollo de la Rehabilitación Cardíaca en la Universidad Nacional

En la antigua Escuela de Ciencias del Deporte se desarrolló el proyecto de rehabilitación cardíaca en 2004, esta comenzó con una fase ambulatoria y luego se incluyó una fase de mantenimiento y seguimiento después de que el paciente terminaba la segunda fase. Los académicos Dr. Braulio Sánchez Ureña y el Dr. Jorge Salas Cabrera eran los encargados de ese proyecto hasta diciembre de 2008 y el Dr. Christian Moraga Rojas fue el médico que valoraba los pacientes durante los primeros años. En 2009, el proyecto de rehabilitación cardíaca cambia su nombre a Centro de Rehabilitación Cardiovascular y mantiene la fase ambulatoria de 36 sesiones de ejercicio y la fase de seguimiento de al menos seis meses.

También, se incorpora como parte de la evaluación médica, una estratificación de riesgo de los pacientes mediante la utilización de las guías de la Asociación Americana de Rehabilitación Cardiovascular y Pulmonar (AACVPR por sus siglas en inglés), así como una prueba física al inicio y al final del programa, tal como se muestran en las Figuras 1 y 2. Dentro de las evaluaciones físicas que se realizaron, incluía mediciones antropométricas, signos vitales y una prueba de caminata de seis minutos (American Association of Cardiopulmonary Rehabilitation, 2013; American College of Sports Medicine, 2018; Araya-Ramírez *et al.*, 2013). En 2011, la Escuela de Ciencias del Deporte cambia de nombre a

CIEMHCAVI y el proyecto de rehabilitación cardiaca continúa utilizando las guías y realizando las evaluaciones que son incluidas en una base de datos. Las guías de la AACVPR son reconocidas a escala mundial como un programa de prevención secundaria y de atención integral al paciente cardiaco. Estas guías contienen diez componentes centrales que contribuyen a mejorar los factores de riesgo coronario y promueven buenos hábitos de salud (American Association of Cardiopulmonary Rehabilitation, 2013). Los componentes centrales del programa incluyen: una evaluación del paciente cardiaco, consejos nutricionales, manejo de los lípidos sanguíneos, manejo de la hipertensión, educación referente a cómo dejar de fumar, manejo del peso corporal, manejo de la diabetes mellitus, manejo psicológico, consejos en cuanto a la actividad física y consejos en relación al entrenamiento por medio de ejercicio (American Association of Cardiopulmonary Rehabilitation, 2013; Balady *et al.*, 2007).

Figura 1.

Inicios del Centro de Rehabilitación Cardiovascular en la Escuela de Ciencias del Deporte. En la imagen están la Dra. Vera Rodríguez Cambronero, médico y el Dr. Felipe Araya Ramírez, coordinador del centro desde el 2009 a 2020.



Fuente: archivo de la Escuela de Ciencias del Deporte de la UNA.

Figura 2.

Parte del personal del Centro de Rehabilitación Cardiovascular en sus inicios. En la imagen están el médico Dr. Christian Moraga Rojas, el coordinador Dr. Felipe Araya Ramírez y el estudiante Jean Carlo Gamboa Salas.



Fuente: archivo de la Escuela de Ciencias del Deporte de la UNA.

Adicionalmente, el coordinador del proyecto en conjunto con el médico del centro visitaba a los diferentes médicos especialistas de los hospitales de la Caja Costarricense del Seguro Social y de clínicas privadas, para solicitarles que enviaran a los pacientes a realizar la rehabilitación cardiaca en la Universidad Nacional. Una vez los pacientes llegan al centro, se hacía una valoración médica, firmaban un consentimiento informado y realizaban pruebas físicas iniciales. Posteriormente, los pacientes realizaban sesiones de ejercicio que eran monitoreadas por el médico con una telemetría y la prescripción ejercicio la realizaban especialistas en Ciencias del Movimiento Humano. El ejercicio aeróbico se hizo en bandas sin fin y en bicicletas estacionarias con una duración inicial por sesión de 10 a 20 minutos hasta llegar a 45 minutos, tres veces por semana. La estructura de una sesión de ejercicio comprendió una fase de calentamiento, una de ejercicio aeróbico y una de relajación de 5 a 10 minutos al final de la sesión, tal como se muestran en las Figuras 3, 4 y 5.

Figura 3.
Control de actividad eléctrica.



Fuente: archivo de la Escuela de Ciencias del Deporte de la UNA.

Figura 4.
Monitoreo durante el ejercicio del corazón por medio de una telemetría.



Fuente: archivo de la Escuela de Ciencias del Deporte de la UNA.

Figura 5.
Sesiones de ejercicio aeróbico con los pacientes con ECV.



Fuente: archivo de la Escuela de Ciencias del Deporte de la UNA.

Adicionalmente, a los pacientes se les impartían sesiones grupales de educación por parte del personal del centro una vez por semana, en temáticas relacionadas con su enfermedad y a cómo mejorar su hábitos de salud (Araya-Ramírez, Ureña-Bonilla, Blanco-Romero, & Grandjean, 2014; Araya-Ramírez *et al.*, 2013), Figura 6.

Figura 6.
Sesiones grupales de educación con los pacientes con ECV.



Fuente: archivo de la Escuela de Ciencias del Deporte de la UNA.

Investigaciones científicas en rehabilitación cardiaca en la Universidad Nacional

En los últimos 20 años se desarrollaron 14 investigaciones por académicos y estudiantes de la CIEMHCAVI, estos utilizaron la información de pacientes con ECV y que fueron publicadas en revistas indexadas entre los años 2011 y 2022. De estas investigaciones nueve fueron en revistas nacionales (Araya-Ramírez, 2021; Araya-Ramírez, Blanco-Romero, & Salas-Cabrera, 2011; Araya-Ramírez *et al.*, 2014; Araya-Ramírez *et al.*, 2013; Salas-Cabrera, 2015; Sánchez-Ureña & Ureña-Bonilla, 2011; J.A. Trejos-Montoya, 2020, 2022; J. A. Trejos-Montoya & Araya-Ramírez, 2019). También, se publicaron cinco investigaciones en revistas internacionales (Araya-Ramírez, Gamboa-Salas, Sánchez-Ureña, Rodríguez-Cambroner, & Grandjean, 2017; Araya-Ramírez, Moncada-Jiménez, Esquivel-Rodríguez, Trejos-Montoya, & Grandjean, 2020; Araya-Ramírez, Moncada-Jiménez, Grandjean, & Franklin, 2021; Araya-Ramírez, Ureña-Bonilla, Blanco-Romero, & Grandjean, 2015; J. A. Trejos-Montoya *et al.*, 2018). Estas investigaciones fueron descriptivas, observacionales, prospectivas, correlativas, retrospectivas, revisiones sistemáticas y una investigación cualitativa (Araya-Ramírez, 2021; Araya-Ramírez *et al.*, 2011; Araya-Ramírez *et al.*, 2017; Araya-Ramírez *et al.*, 2021; Araya-Ramírez *et al.*, 2015; Araya-Ramírez *et al.*, 2014; Araya-Ramírez *et al.*, 2013; Salas-Cabrera, 2015; Sánchez-Ureña & Ureña-Bonilla, 2011; J. A. Trejos-Montoya, 2020, 2022; J. A. Trejos-Montoya & Araya-Ramírez, 2019; J. A. Trejos-Montoya *et al.*, 2018).

Como se mencionó en la introducción, la primera investigación en rehabilitación cardiaca fue hecha por los estudiantes Luis Blanco Romero y Jorge Salas Cabrera como trabajo de tesis de maestría en 2002. El tutor fue el Dr. Felipe Araya Ramírez y el asesor fue el Dr. Gerardo Araya Vargas. Este estudio evaluó dos protocolos de rehabilitación cardiaca en 35 pacientes con ECV que asistieron al CENARE. Un grupo de pacientes realizaba ejercicio según las guías de la AACVPR y el otro realizaba baile aeróbico. El grupo AACVPR obtuvo superiores resultados en la composición corporal, la flexibilidad y la frecuencia cardiaca de

reposo. Sin embargo, ambos protocolos mejoraron la capacidad cardiovascular y disminuyeron la presión arterial (Araya-Ramírez *et al.*, 2011).

La segunda investigación publicada fue también una tesis de maestría de la MSIMH en 2009 y llevada a cabo por el estudiante Braulio Sánchez Ureña, el tutor fue el Dr. Pedro Ureña Bonilla. Este estudio fue con pacientes con enfermedad coronaria a los que se les evaluó la ira y la hostilidad y el afrontamiento ante su patología. Se encontró que la hostilidad, la agresividad verbal y la ira fueron los valores mayores reportados. Además, la religión, el apoyo social y la aceptación fueron los mecanismos de afrontamiento más importantes reportados por los pacientes (Sánchez-Ureña & Ureña-Bonilla, 2011).

Posteriormente, se publicaron tres investigaciones cuantitativas y una cualitativa con información generada en el proyecto de rehabilitación cardíaca (Araya-Ramírez *et al.*, 2015; Araya-Ramírez *et al.*, 2014; Araya-Ramírez *et al.*, 2013; Salas-Cabrera, 2015). Los hallazgos más importantes de las investigaciones cuantitativas con los pacientes con ECV y también en pacientes cardíacos con hipertensión, mostraron una mejoría entre 25 % y 27 % de la capacidad cardíaca. También, aumentaron la distancia de caminata entre 26 % y 34 % después de la rehabilitación cardíaca (Araya-Ramírez *et al.*, 2015; Araya-Ramírez *et al.*, 2014; Araya-Ramírez *et al.*, 2013). Asimismo, las presiones arteriales sistólica y diastólica en reposo se redujeron entre 4 mmHg y 7,8 mmHg y 1,62 y 2 mmHg respectivamente, después del programa (Araya-Ramírez *et al.*, 2015; Araya-Ramírez *et al.*, 2014; Araya-Ramírez *et al.*, 2013). Además, los pacientes mostraron mejorías en la respuesta hemodinámica y en la recuperación después de 12 semanas de ejercicio (Araya-Ramírez *et al.*, 2015; Araya-Ramírez *et al.*, 2014).

En 2014, se realizó una investigación cualitativa por el académico Dr. Jorge Salas Cabrera, la cual fue su tesis de doctorado en educación en la Universidad Estatal a Distancia, la cual investigó el modelo constructivista y la creación de una mediación pedagógica para los pacientes cardíacos. Esta investigación mostró que el modelo educativo se centró en la enseñanza de la metodología conductual y que los pacientes tuvieron cambios a corto plazo. No obstante, el éxito de la rehabilitación cardíaca se da cuando se obtienen cambios en los hábitos saludables a largo plazo (Salas-Cabrera, 2015).

La mayoría de las publicaciones en revistas indexadas hechas por los académicos y estudiantes del Centro de Rehabilitación Cardiovascular de CIEMHCAVI se dieron entre 2016 y 2022, se contabilizaron un total de ocho investigaciones (Araya-Ramírez, 2021; Araya-Ramírez *et al.*, 2017; Araya-Ramírez *et al.*, 2020; Araya-Ramírez *et al.*, 2021; J. A. Trejos-Montoya, 2020, 2022; J. A. Trejos-Montoya & Araya-Ramírez, 2019; J.A. Trejos-Montoya *et al.*, 2018).

En 2016, se realizó el trabajo de tesis de maestría del estudiante José Andrés Trejos Montoya y el tutor fue el Dr. Felipe Araya Ramírez. Esta investigación evaluó si la capacidad funcional, la presión arterial y la frecuencia cardiaca de reposo de los pacientes con ECV se mantenía después de dos años de haber terminado la rehabilitación cardiaca. La mejoría obtenida en la capacidad funcional, la disminución en la presión arterial y la respuesta hemodinámica se mantuvo después de dos años. Además, la frecuencia cardiaca de reposo se redujo posterior a la rehabilitación cardiaca (J. A. Trejos-Montoya *et al.*, 2018).

En 2017, se realizó otra investigación que fue el trabajo de tesis de maestría del estudiante Jean Carlo Gamboa Salas y como tutor fue el Dr. Felipe Araya Ramírez. El estudio se realizó con 24 pacientes con EAC que completaron ocho semanas de rehabilitación cardiaca y se midieron variables psicológicas al inicio y después de cada semana de ejercicio. Al final de la rehabilitación cardiaca los pacientes redujeron el estrés un 50 %, la fatiga un 58 % y la tensión un 60 %. Además, el estado de ánimo del vigor mejoró 31 % después del programa (Araya-Ramírez *et al.*, 2017).

Seguidamente, en 2019, se realizó una revisión sistemática de literatura con pacientes con insuficiencia cardiaca que evaluó el efecto del entrenamiento de intervalos de alta intensidad (EIAI) y el entrenamiento de intervalos de moderada intensidad (EIMI) en variables fisiológicas. Se analizaron 22 estudios que cumplieron los criterios de inclusión, los cuales mostraron que el EIAI es más efectivo y que mejora el consumo máximo de oxígeno y la fracción de eyección. Otras variables no fueron concluyentes debido a la gran variabilidad en los resultados (J. A. Trejos-Montoya & Araya-Ramírez, 2019).

Posteriormente, otro estudio evaluó el efecto de 8 y 12 semanas de ejercicio en pacientes con ECV a los que se les midió la velocidad y distancia de la caminata de la PC6M y el tiempo de duración en la prueba TUG. La distancia recorrida y la

velocidad en la PC6M mejoraron más significativamente a la octava semana que a la duodécima semana. Lo mismo ocurrió con la reducción de los tiempos en segundos en la prueba de TUG (Araya-Ramírez *et al.*, 2020).

En otra revisión sistemática realizada por el académico M.Sc. José Andrés Trejos Montoya en 2020, examinó el efecto de diferentes tipos de ejercicio en el péptido natriurético cerebral (BNP) y la porción amino terminal N del péptido natriurético cerebral (NT-proBNP) de pacientes con insuficiencia cardiaca. Los resultados mostraron una disminución de 6.7 % a 50.5 % del BNP con ejercicio aeróbico. Sin embargo, entre el entrenamiento concurrente no presentó cambios en el BNP. Además, el NT-proBNP se presentó reducciones entre 13.6 % y 71.7 % con ejercicio aeróbico y entre 2.5 % y 36.7 % con entrenamiento concurrente (J.A. Trejos-Montoya, 2020).

El siguiente año se realizó una investigación que midió los cambios en el rendimiento de la PC6M y el comportamiento de la presión arterial de hombres y mujeres con ECV que completaron un programa de 12 semanas de ejercicio. Al final del estudio, los hombres tuvieron un mayor rendimiento que las mujeres. Sin embargo, tanto las mujeres como los hombres disminuyeron la presión arterial diastólica posterior al ejercicio (Araya-Ramírez *et al.*, 2021).

Ese mismo año, se publicó otra revisión de literatura realizada por el autor de este capítulo sobre las investigaciones científicas realizadas por investigadores de los diferentes programas de rehabilitación cardiaca costarricenses, tanto en hospitales de la CCSS, como en la Universidad Nacional. Se encontraron un total de catorce publicaciones cuyos resultados se resumen a través de este capítulo y se presentan en detalle en las Tablas 1 y 2. Otros hallazgos de estas investigaciones que los pacientes con ECV mejoraron el índice de masa corporal, redujeron el colesterol total, los triglicéridos y aumentaron el colesterol HDL. Asimismo, los pacientes mejoraron la calidad de vida (Araya-Ramírez, 2021).

En 2022, se publicó una revisión sistemática por parte del académico M. Sc. José Andrés Trejos Montoya en donde se analizó el efecto del ejercicio aeróbico y el entrenamiento concurrente en la interleucina 6 (IL-6) de pacientes cardiacos. Los resultados mostraron una disminución significativa del IL-6 entre 5 % y 74 % con ejercicio aeróbico y entre de 2.3 % y 58.8 % con entrenamiento concurrente (J. A. Trejos-Montoya, 2022).

Finalmente, el Centro de Rehabilitación Cardiovascular de la CIEMHCAVI continúa siendo un referente a escala nacional en el área de la rehabilitación cardíaca, no solo por los aportes generados por las investigaciones realizadas por los académicos y estudiantes asistentes que han trabajado en el proyecto, sino también por la calidad del servicio de extensión brindado a la comunidad nacional durante 18 años. El coordinador del proyecto desde el 2021 es el académico M. Sc. José Andrés Trejos, quien está trabando en conjunto con la Dra. Vera Rodríguez Cambronero y la Bach. María José Esquivel Rodríguez, los cuales ya tienen varios años juntos laborando en las nuevas instalaciones como se presenta en la Figura 7.

Figura 7.
Personal del Centro de Rehabilitación Cardiovascular actual.
En la imagen están el M.Sc. José Andrés Trejos
y la Bach. María José Esquivel Rodríguez.



Fuente: archivo de la Escuela de Ciencias del Deporte de la UNA.

Conclusiones

Los aportes más importantes de las investigaciones científicas en el área de la rehabilitación cardiaca, generadas por los académicos y estudiantes de la Escuela de Ciencias del Deporte y de la Escuela de Ciencias del Movimiento Humano y Calidad de Vida de la Universidad Nacional en los últimos 20 años, mostraron mejoras en la capacidad cardiovascular, capacidad funcional, presión arterial y frecuencia cardiaca. Adicionalmente, revelaron que la rehabilitación cardiaca contribuyó en mejorar psicológicamente a los pacientes, disminuyendo el estrés, mejorando los estados de ánimo, los mecanismos de afrontamiento ante la enfermedad y la calidad de vida de los pacientes. También, las revisiones sistemáticas de literatura realizadas por los académicos mostraron que los pacientes que realizaron diferentes modalidades de ejercicio tuvieron mejoras en cuanto a los biomarcadores cardiacos con la fracción de eyección, el BNP, el NT-proBNP y la IL-6.

Tabla 1.
*Resumen de las investigaciones científicas en
rehabilitación cardiaca en la Universidad Nacional
publicadas en revistas nacionales*

Estudio	Propósito	Metodología	Resultados principales
(Ara-ya-Ramírez et al., 2011)	“Comparar dos protocolos de RC en variables fisiológicas de pacientes con EAC”.	Los participantes fueron 35 pacientes con EAC. (Grupo 1 = N = 17 y grupo 2 = 18). Ejercicio 3 veces x semana durante 12 semanas. Grupo 2 = baile aeróbico.	El grupo 1 mostró mejores resultados en el peso, grasa corporal, flexibilidad y frecuencia cardiaca reposo ($p < 0,05$). Los 2 grupos presentaron cambios en la presión arterial. El VO_2 máx aumentó un 23 % en el grupo 1 y un 27.6 % en el grupo 2.

Estudio	Propósito	Metodología	Resultados principales
(Sanchez-Ureña & Ureña-Bo-nilla, 2011)	"Valorar la presencia de la ira-hostilidad, agresividad y sus mecanismos de afrontamiento en personas con EAC".	Los sujetos del estudio fueron 19 pacientes con EAC. Se administró el cuestionario de complejo-ira-hostilidad y el cuestionario COPE para medir los mecanismos de afrontamiento.	La ira-hostilidad tuvo valores entre 1.84 y 2.51, siendo la hostilidad mayor con 2.51 y la agresividad verbal 2.49. Los mecanismos de afrontamiento más importantes para los pacientes fueron la religión, el apoyo social, la aceptación, la planificación, el afrontamiento activo y la reinterpretación positiva.
(Ara-ya-Ra-mírez <i>et al.</i> , 2013)	"Examinar el efecto de la capacidad funcional después de un programa de RC de 12 semanas en pacientes con EAC".	Los participantes fueron 112 pacientes con EAC. Se hicieron mediciones al inicio y al final de 12 semanas. Se midió la PC6M y las PAS y PAD. El ejercicio fue 3 veces durante 20 a 40 minutos.	Los pacientes aumentaron 34 % la PC6M y 26 % el VO2máx (P < 0.001). La velocidad de caminar aumentó 36 % (P < 0.001). La PAS disminuyó 3.7 %, (P = 0.031).
(Ara-ya-Ra-mírez <i>et al.</i> , 2014)	"Examinar el efecto de un programa de ejercicios en la capacidad funcional y la respuesta hemodinámica de pacientes con ECV".	Los participantes fueron 226 pacientes que realizaron ejercicio 3 veces por semana por 12 semanas. La capacidad funcional y el VO-2máx fueron medidos antes y después del programa.	Los pacientes aumentaron 31 % la capacidad funcional (P < 0,001). El VO-2máx aumentó 25 %, (P < 0,001). La PAS disminuyó 3.6 %, (P = 0,001) y la PAD disminuyó 2.9 % (P = 0,002). Los tamaños de efecto fueron 1.29, 0.68, 0.22, 0.22 y 0.27 para PC6M, VO2max, PAS y PAD respectivamente.

Aportes de las ciencias para la Conservación Ambiental
y el mejoramiento de la Salud Pública

Estudio	Propósito	Metodología	Resultados principales
(Salas-Cabrera, 2015)	"Recopilar los principios del modelo constructivista en la elaboración de una mediación pedagógica aplicada a los pacientes con ECV".	Estudio cualitativo ideográfico desarrollado por mediación pedagógica basada en el modelo constructivista. No se generalizan los resultados a la población porque las conclusiones aplican solo a los sujetos del estudio.	Según este estudio los modelos educativos de intervención en los pacientes con ECV se enfocaron en la enseñanza mediante la metodología conductual y los pacientes lograron cambios significativos a corto plazo.
(J. A. Trejos-Montoya & Araya-Ramírez, 2019)	"Revisar la evidencia científica sobre la efectividad del HIIT con el MCIT en adaptaciones cardiovasculares de pacientes con IC que presenten FE reducida".	Se utilizó las bases de datos: PubMed, Academic Search Complete, SportDiscus y ScienceDirect. Se incluyó 22 estudios con pacientes con IC.	El HIIT es más efectivo para aumentar el VO ₂ máx y se mejoró entre 5.7 % y el 46.2 %. Se reportó aumentos en la FE entre 2.6 % y 35.7 % con HIIT. Parece que el entrenamiento HIIT produce una disminución en la remodelación del VI.
(J.A. Trejos-Montoya, 2020)	"Revisar la evidencia científica sobre la efectividad de distintas modalidades de ejercicio en la disminución del BNP y del NT-proBNP en pacientes con IC".	Se utilizó la metodología con base en los criterios de PICOS.	Se encontró una disminución del BNP con ejercicio aeróbico entre 6.7 % y 50.5 % y el EC no presentó efectos significativos. El NT-proBNP mostró disminuciones significativas entre 13.6 % y 71.7 % con ejercicio aeróbico y entre 2.5 % y 36.7 % con EC.

Estudio	Propósito	Metodología	Resultados principales
(Ara-ya-Ra-mírez, 2021)	“Presentar la evidencia científica de las investigaciones realizadas por programas de RC en Costa Rica”.	Se realizó una búsqueda de artículos entre los años 2000 a 2021 en las bases de datos PUBMED, ScienceDirect, SportDiscus y Google Académico.	Se encontraron 14 publicaciones y los hallazgos más importantes fueron que el VO2máx mejoró en 19 % a 30 % y la caminata mejoró en 31 % a 34 %. La PAS disminuyó 4 mmHg y 7,8 mmHg y la PAD entre 1,2 y 2 mmHg.
(J.A. Trejos-Montoya, 2022)	“Analizar el efecto del ejercicio aeróbico y el concurrente sobre la IL-6 en pacientes con EAC”.	Se utilizó la metodología basada en los acuerdos PRISMA.	Disminuyó el IL-6 entre 5 % y 74 % con EA y entre 2.3 % y 58.8 % con el EC. Los dos tipos de ejercicio disminuyen el IL-6, independientemente de la edad, sesiones de entrenamiento semanales y de la etapa inicial de los pacientes.

5. Abreviaciones: RC = rehabilitación cardiaca, N = número de pacientes, H = hombres, M = mujeres, EAC = enfermedad arterial coronaria, IMC = índice de masa corporal, AACVPR = Asociación Americana de Rehabilitación Cardio-Pulmonar, Trad. = tradicional, PC6M = prueba de caminata de 6 minutos, RCC = relación cintura-cadera, CC = circunferencia de cintura, LDL-C = colesterol de baja densidad, HDL-C = colesterol de alta densidad, TG = triglicéridos, VO2R = consumo de oxígeno reserva, IAM = infarto agudo de miocardio, IC = insuficiencia cardiaca, FE = fracción de eyección, HIIT = entrenamiento de intervalos de alta intensidad, MICT = entrenamiento continuo de moderada intensidad, IL-6 = interleucina 6, VI = ventrículo izquierdo, BNP = péptido natriurético cerebral, NT-proBNP = la porción terminal N del péptido natriurético cerebral, EA = entrenamiento aeróbico, EC = entrenamiento concurrente.

Fuente: elaboración propia

Tabla 2.

*Resumen de las investigaciones científicas en rehabilitación
cardíaca en la Universidad Nacional publicadas en revistas
internacionales.*

Estudio	Propósito	Metodología	Resultados principales
(Araya-Ramírez <i>et al.</i> , 2015)	"Medir el efecto de la mejoría cardiovascular con RC en la respuesta hemodinámica en reposo y posterior al ejercicio de pacientes cardíacos hipertensos".	Los sujetos del estudio fueron 118 pacientes cardíacos con hipertensión que fueron medidos antes y después de un programa de ejercicio en RC de 12 semanas.	La PC6M aumentó un 32 % y el VO2max 27 % (P < 0.001). La PAS se disminuyó 4.3 (P = 0.005) y la PAM un 3.5 % (P = 0.015). La recuperación de la FC y la PAS mejoró posterior a la PC6M (P < 0.001).
Araya-Ramírez <i>et al.</i> (2017)	"Determinar el efecto semanal del ejercicio en RC sobre el estrés percibido y estados de ánimo de pacientes con enfermedad arterial coronaria".	Participaron 24 pacientes con EAC que fueron medidos cada semana durante 8 semanas. Se aplicó el cuestionario de estrés percibido y el POMS para medir los estados de ánimo (fatiga, vigor, tensión y amistad).	El estrés disminuyó 50 % (P = 0.01) al final de RC. En la semana 1 bajó y luego se mantuvo. La fatiga se redujo 58 % hasta la semana 7 (P = 0.016). El vigor aumento 31 % hasta la semana 5 (P = 0.0019). El aumento en vigor se observó (12.2 ± 4.6 a 3.6 ± 16.1 , P = 0.009). La tensión disminuyó 60 % en la semana 3 (P = 0.05). La amistad mejoró 12.5 % en semana 5 (P = 0.015). La distancia en la PC6M mejoró 26 % (P < 0.01) después de RC.

Estudio	Propósito	Metodología	Resultados principales
(J.A. Trejos-Montoya <i>et al.</i> , 2018)	"Examinar el mantenimiento de la capacidad funcional y la respuesta hemodinámica al ejercicio en pacientes cardiacos 2 años y medio después de dado de alta de RC".	Los participantes fueron 52 pacientes que regresaron después de 2.5 años para realizar una PC6M y medir la respuesta hemodinámica al final.	La capacidad funcional se mantuvo después de 2.5 años ($P > 0.05$). La FCR disminuyó 7.0 % después de 2.5 años ($P = 0.007$). La PAD disminuyó 5.6 % después de RC y se mantuvo después de 2.5 años ($P > 0.05$).
(Araya-Ramírez <i>et al.</i> , 2020)	"Determinar el efecto de 36 sesiones ejercicio en RC en la velocidad de caminata, tiempo de rendimiento y variables hemodinámicas en pacientes cardiacos".	Los participantes fueron 47 pacientes que realizaron una PC6M y TUG, al inicio, a 24 y 36 sesiones de ejercicio. La distancia de PC6M, el tiempo de TUG se midieron en tres periodos. También, se midió la FC, PAS, PAD y la velocidad de caminata en KPH para la PC6M y TUG.	La distancia y la velocidad de PC6M y los tiempos de TUG aumentaron más a las 24 sesiones que de 24 a 36 sesiones. Se registró una alta confiabilidad en TUG entre la prueba 1 y 2 al inicio ($r = 0.91$, $P \leq 0.001$), S24 ($r = 0.94$, $P \leq 0.001$) y S36 ($r = 0.88$, $P \leq 0.001$).

Estudio	Propósito	Metodología	Resultados principales
(Araya-Ramírez et al., 2021)	"Evaluar los cambios en el rendimiento de la prueba de caminata y las respuestas de la presión arterial después de un programa ambulatorio de RC de 12 semanas basado en ejercicio".	Los participantes fueron 311 pacientes que fueron evaluados en la PC6M, la PAS, PAD, frecuencia cardiaca final (FCF) luego de la PC6M y la frecuencia cardiaca después de 5 minutos de recuperación (REC), así como la PAS post-PC6M (PASP) y la PAD post-PC6M (PADP).	Los hombres tuvieron un mejor rendimiento que las mujeres ($P \leq 0.001$). Sin embargo, ambos mejoraron la PAD posterior a RC ($P = .001$). La PAS aumentó más en los hombres después de PC6M ($P \leq .001$). No obstante, no fue lo mismo en las mujeres.

Abreviaciones: RC = rehabilitación cardiaca, N = número de pacientes, H = hombres, M = mujeres, IMC = índice de masa corporal, AACVPR = Asociación Americana de Rehabilitación Cardio-Pulmonar, Trad. = tradicional, PC6M = prueba de caminata de 6 minutos, H = hombres, M = mujeres, TUG = timed-up-and-go test, I = inicio, S24 = 24 sesiones, S36 = 36 sesiones, FC = frecuencia cardiaca, PAS = presión arterial sistólica, PAD = presión arterial diastólica, KPH = kilómetros por hora, lpm = latidos por minuto, FCF = frecuencia cardiaca final, REC = frecuencia cardiaca después de 5 minutos de recuperación, PASP = presión arterial sistólica posterior a la prueba de caminata de 6 minutos, PADP = presión arterial diastólica posterior a la prueba de caminata de 6 minutos.

Fuente: elaboración propia

Bibliografía

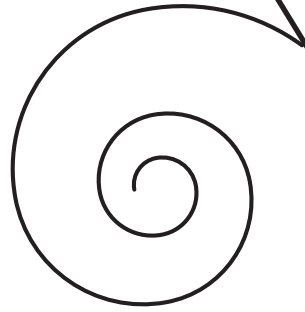
- American Association of Cardiopulmonary Rehabilitation. (2013). Guidelines for Cardiac Rehabilitation and Secondary Prevention Programs Champaign IL: *Human Kinetics*, (5th).
- American College of Sports Medicine. (2018). ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, (10th).
- Anderson, L., Oldridge, N., Thompson, D. R., Zwisler, A. D., Rees, K., Martin, N. K., & Taylor, R. S. (2016). Exercise-based cardiac rehabilitation for coronary heart disease: Cochrane systematic review and meta-analysis. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 67(1), 1-12.
- Araya-Ramírez, F. (2021). Evidencia Científica de la Rehabilitación Cardíaca en Costa Rica. *Revista Costarricense de Cardiología*, 23(2), 10-18.
- Araya-Ramírez, F., Blanco-Romero, L., & Salas-Cabrera, J. (2011). Efecto de dos protocolos de ejercicio físico en parámetros antropométricos y fisiológicos en pacientes con enfermedad coronaria. *Rev. Costarr. Cardiol.*, 13(2), 21-25.
- Araya-Ramírez, F., Briggs, K. K., Bishop, S. R., Miller, C. E., Moncada-Jiménez, J., & Grandjean, P. W. (2010). Who is likely to benefit from phase II cardiac rehabilitation? *Cardiopulm Rehabil. Prev.*, 30(2), 93-100.
- Araya-Ramírez, F., Gamboa-Salas, J. C., Sánchez-Ureña, B., Rodríguez-Cambronero, V., & Grandjean, P. W. (2017). Weekly effect of exercise-based cardiac rehabilitation on perceived stress and mood states in cardiac patients. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 49(5).
- Araya-Ramírez, F., Moncada-Jiménez, J., Esquivel-Rodríguez, M. J., Trejos-Montoya, J. A., & Grandjean, P. W. (2020). Improvements in walking speed and timed-up-and go performance times in cardiac rehabilitation. *Med Sci Sports Exerc.*, 52(5), S562.
- Araya-Ramírez, F., Moncada-Jiménez, J., Grandjean, P. W., & Franklin, B. A. (2021). Improved walk test performance and blood pressure responses in men and women completing cardiac rehabilitation: implications regarding exercise trainability. *American Journal of Lifestyle Medicine*, 15(6).
- Araya-Ramírez, F., Urena-Bonilla, P., Blanco-Romero, L., & Grandjean, P. W. (2015). The effect of cardiovascular

improvement with cardiac rehabilitation on rest and post exercise hemodynamic in hypertensive cardiac patients. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 46(5S), 743.

- Araya-Ramírez, F., Ureña-Bonilla, P., Blanco-Romero, L., & Grandjean, P. W. (2014). Efecto de un programa de ejercicios en la capacidad funcional y respuesta hemodinámica de pacientes con enfermedad cardiovascular. *Rev. Costarr. Cardiol.*, 16(2), 5-11.
- Araya-Ramírez, F., Ureña-Bonilla, P., Sánchez-Ureña, B., Blanco-Romero, L., Rodríguez-Montero, A., & Moraga-Rojas, C. (2013). Influencia de la capacidad funcional inicial en marcadores fisiológicos después de un programa de rehabilitación cardiaca. *Rev. Costarr. Cardiol.* 15(1), 5-11.
- Atehortúa, D. S., Gallo, J. A., Rico, M., & Durango, L. (2011). Efecto de un programa de rehabilitación cardiaca basado en ejercicio sobre la capacidad física, la función cardiaca y la calidad de vida, en pacientes con falla cardiaca. *Revista Colombiana de Cardiología*, 18(1), 25-36.
- Balady, G. J., Williams, M. A., Ades, P. A., Bittner, V., Comoss, P., M. Foody, J. M., . . . Southard, D. (2007). Core components of cardiac rehabilitation/secondary prevention programs: 2007 update. A scientific statement from the American Heart Association exercise, cardiac rehabilitation, and prevention committee, the council on clinical cardiology; the councils on cardiovascular nursing, epidemiology and prevention, and nutrition, physical activity, and metabolism; and the American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation. *Circulation*, 115(20), 2675-2682.
- Franklin, B. A., Lavie, C. J., & Squires, R. W. (2013). Exercise-based cardiac rehabilitation and improvements in cardiorespiratory fitness: implications regarding patient benefit. *Mayo Clin. Proc.*, 88(5), 431-437.
- Gupta, R., Sanderson, B. K., & Bittner, V. (2007). Outcomes at one-year follow-up of women and men with coronary artery disease discharged from cardiac rehabilitation: what benefits are maintained? *J. Cardiopulm Rehabil. Prev.*, 27(1), 11-18.
- Kavanagh, T., Hamm, L. F., Beyene, J., Mertens, D. J., Kennedy, J., Campbell, R., . . . Shephard, R. J. (2008). Usefulness of improvement in walking distance versus peak oxygen uptake in predicting prognosis after myocardial infarction and/or coronary artery bypass grafting in men. *Am. J. Cardiol.*, 101, 1423-1427.

- Lavie, C. J., & Milani, R. V. (1995). Effects of cardiac rehabilitation programs on exercise capacity, coronary risk factors, behavioral characteristics, and quality of life in a large elderly cohort. *American Journal of Cardiology*, 76(3), 177-179. doi:dx.doi.org/10.1016/S0002-9149(99)80054-X
- Leon, A. S., Franklin, B. A., Costa, F., Balady, G. J., Berra, K. A., Steward, K. J., . . . Lauer, M. S. (2005). Cardiac rehabilitation and secondary prevention of coronary heart disease: an American Heart Association scientific statement from the council on clinical cardiology (subcommittee on exercise, cardiac rehabilitation, and prevention) and the council on nutrition, physical activity, and metabolism (subcommittee on physical activity), in collaboration with the American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation. *Circulation*, 111(3), 369-376.
- Listerman, J., Bittner, V., Sanderson, B. K., & Brown, T. M. (2011). Cardiac rehabilitation outcomes: impact of comorbidities and age. *J. Cardiopulm Rehabil. Prev.*, 31(6), 342-348.
- Ministerio de Salud. (2014). Memoria Institucional 2010-2014. Ministerio de Salud, 1-194.
- Mozaffarian, D., Benjamin, M. J., Go, A. S., Arnett, D., K., Blaha, M. J., Cushman, M., Fullerton, H. J. (2016). Heart Disease and Stroke Statistics –2016 Update. A Report From the American Heart Association. *Circulation*, 133, e38-e360.
- Piepoli, M. F., Corrà, U., Adamopoulos, S., Benzer, W., Bjarnason-Wehrens, B., Cupples, M., . . . Giannuzzi, P. (2014). Secondary prevention in the clinical management of patients with cardiovascular diseases. Core components, standards and outcome measures for referral and delivery: A policy statement from the cardiac rehabilitation section of the European Association for Cardiovascular Prevention & Rehabilitation. Endorsed by the Committee for Practice Guidelines of the European Society of Cardiology. *Eur. J. Prev. Cardiol.*, 21(6), 664-681.
- Salas-Cabrera, J. (2015). Principios constructivistas para la elaboración de una mediación pedagógica aplicada a pacientes con enfermedad cardiovascular. *Revista Calidad en la Educación Superior*, 6(1), 59-75.
- Sanchez-Ureña, B., & Ureña-Bonilla, P. (2011). Complejo ira-hostilidad y mecanismos de afrontamiento en pacientes que han sufrido un evento cardiovascular. *Rev. Costarr. Cardiol.*, 13(1), 13-18.

- Taylor, R. S., Brown, A., Ebrahim, S., Judith, J., Noorani, H., Rees, K., . . . Neil Oldridge, N. (2004). Exercise-based rehabilitation for patients with coronary heart disease: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Am. J. Med.*, 116, 682-692.
- Trejos-Montoya, J. A. (2020). Efecto del ejercicio físico sobre el péptido natriurético cerebral en pacientes con insuficiencia cardíaca: una revisión sistemática. *Revista Costarricense de Cardiología*, 22(1), 19-27.
- Trejos-Montoya, J. A. (2022). Ejercicio aeróbico versus concurrente sobre la interleucina-6 en pacientes con enfermedad arterial coronaria: Una revisión sistemática. *MHSalud*, 19(1), 1-12. doi:doi.org/10.15359/mhs.19-1.5
- Trejos-Montoya, J. A., & Araya-Ramírez, F. (2019). Adaptaciones cardiovasculares del entrenamiento interválico de alta intensidad en pacientes con insuficiencia cardíaca: una revisión sistemática. *Revista Costarricense de Cardiología*, 21(1), 25-33.
- Trejos-Montoya, J. A., Sánchez-Ureña, B., Grandjean, P. W., Blanco-Romero, L., Salas-Cabrera, J., Rodríguez-Cambronero, V., & Araya-Ramírez, F. (2018). Maintenance of functional capacity and hemodynamic responses after discharge from cardiac rehabilitation. *American Journal of Sports Science*, 6(3), 108-113.
- Williams, M. A., Ades, P. A., Hamm, L. F., Keteyian, S. J., LaFontaine, T. P., Roitman, J. L., & Squires, R. W. (2006). Clinical evidence for a health benefit from cardiac rehabilitation: an update. *Am. Heart J.*, 152(5), 835-841.
- Wong, M., García, M., García, A., & Carrillo, S. (2011). Resultados del programa de rehabilitación cardíaca fase II, desarrollado por el Centro Nacional de Rehabilitación, Costa Rica. *Acta Méd. Costarric.*, 53(4), 188-193.
- World Health Organization. (2021). *Cardiovascular Diseases (CVDs) Key facts*.

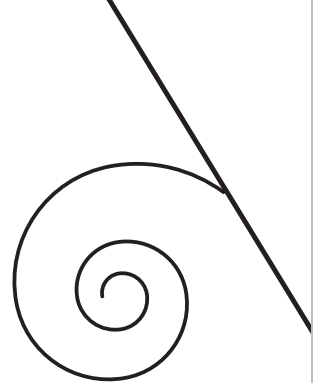


Capítulo VII

Calidad ambiental para la sociedad en los volcanes Poás y Turrialba de Costa Rica

José Pablo Sibaja Brenes¹,
Rosa Alfaro Solís²,
José Carlos Mora Barrantes³,
Henry Borbón Alpízar⁴,
María Martínez Cruz⁵,
Ian Godfrey⁶

-
- 1 Tiene una Licenciatura en Química Industrial con profundización en Química Ambiental, de la UNA, es Magister Scientiae en Gestión y Estudios Ambientales, de la UNA. Académico de la Escuela de Química desde el 2008. Exsubdirector, exdirector de la Escuela de Química.
 - 2 Tiene una Licenciatura en Química Industrial con profundización en Química Ambiental, de la UNA, graduada de la Maestría Profesional en Gestión y Estudios Ambientales, de la UNA. Académica de la Escuela de Química desde el 2010.
 - 3 Es licenciado en Química Industrial con Énfasis en Química Ambiental (Universidad Nacional, Costa Rica) y máster en Ciencias en Gestión y Estudios Ambientales (Universidad Nacional, Costa Rica). Académico e Investigador en la Universidad Nacional desde el 2006.
 - 4 Graduado de Biología Marina en 2001, es licenciado en Química Industrial en 2006. Estudios de postgrado en la Universidad de Puerto Rico, recinto Mayagüez donde obtiene la Maestría en Ciencias Químicas en el 2009, reconocida en la Universidad de Costa Rica en 2010.
 - 5 Cursó estudios universitarios en el campo de la Química en la Escuela de Química de la Universidad de Costa Rica, con especial énfasis en Química Analítica. Posteriormente, siguió estudios en Ciencias de la Tierra con el Grupo de Petrología de la Universidad de Utrecht y se enfocó en la investigación de la interacción roca-fluidos en sistemas magmáticos hidrotermales como el del volcán Poás.
 - 6 Durante los últimos tres años, de 2019 a 2022, Ian Godfrey se ha centrado en dominar UAS (vehículos aéreos no tripulados) y los aspectos aeronáuticos requeridos para volar drones comerciales en los Estados Unidos.



Riesgo Químico

Introducción

El amplio uso de productos y sustancias químicas tanto en la industria química como en múltiples actividades laborales de la sociedad actual (actividades de educación e investigación en el plano universitario), implica un peligro considerable, debido a que la mayoría de los productos químicos y sus posteriores emisiones atmosféricas son propensas a generar daños o efectos no deseables en las personas, en los bienes materiales y en el ecosistema (INSHT, 2004; Mora, *et al.*, 2015).

El nivel de gravedad y propagación de los posibles daños y efectos generados por las sustancias químicas justifica el interés de adopción de un enfoque sistemático de la seguridad laboral en la utilización de productos químicos en el trabajo. El uso y la exposición a sustancias químicas implica el entendimiento adecuado de los conceptos de peligro y riesgo químico. El peligro químico o físico de un producto es la capacidad intrínseca para producir daño, es una propiedad exclusiva del producto, una propiedad no cambiante; por ejemplo, un producto por su naturaleza puede ser corrosivo, tóxico o inflamable. Por otro lado, el riesgo hace referencia a la probabilidad de que el producto peligroso produzca efectivamente el daño, no obstante, esta probabilidad depende fundamentalmente de las condiciones concretas de uso y de exposición del producto, tomando en

cuenta la importancia de los daños. La probabilidad de que un producto corrosivo dañe la piel depende de las condiciones de su uso (Aguilar *et al.*, 2010).

Para un correcto control en la prevención del riesgo químico durante la exposición a sustancias químicas y sus emisiones, precisa de conocimientos concretos y de la aplicación de procedimientos específicos. Una adecuada gestión del riesgo químico implica conocer con exactitud todos los productos químicos que estén presentes o puedan encontrarse en el sitio de trabajo; y sobre todo una adecuada gestión exige identificar y conocer las propiedades fisicoquímicas y toxicológicas de la sustancia química (Mora, *et al.*, 2015). Durante el uso y la exposición a productos químicos y sus emisiones gaseosas es de gran relevancia considerar, en primer lugar, las posibilidades de caracterizar y clasificar la peligrosidad intrínseca de los productos químicos en función de sus propiedades fisicoquímicas y toxicológicas, y, en segundo lugar, es preciso analizar y estudiar los mecanismos por los que se pueden generar los diferentes efectos adversos de sus emisiones gaseosas (INSHT, 2004; Aguilar *et al.*, 2010). Un tercer aspecto para una adecuada gestión de la exposición a sustancias químicas es la disposición correcta de información sobre sus peligros y riesgos, así como las medidas de seguridad que se deben tomar (Mora, *et al.*, 2015).

Sistemas de identificación y clasificación de peligros y riesgos químicos



El uso y la exposición a sustancias químicas requiere conocimiento de su compatibilidad química con otras sustancias, con el fin de evitar que sustancias incompatibles entren en contacto entre sí, lo cual potencializa la generación de reacciones químicas no deseadas y, por lo tanto, genera situaciones de emergencia. Entre los principales sistemas para la identificación de peligros y riesgos de sustancias químicas se indican (Mora, *et al.*, 2015):

- El sistema de clasificación de productos químicos recomendado por la Agencia de Protección al Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA, Environmental Protection Agency).

- El sistema de clasificación de productos químicos según la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de los Estados Unidos (OSHA, Occupational Safety & Health Administration).
- El sistema de clasificación según la Comunidad Económica Europea (CEE).
- Sistemas de clasificación de materiales peligrosos recomendados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), esto es: a) el sistema de clasificación mayormente utilizado en el ámbito mundial para el transporte de mercancías peligrosas: el sistema del Código IMDG (International Maritime Dangerous Goods) de la ONU, conocido en español como el código internacional de mercancías peligrosas, y b) el Sistema Globalmente Armonizado de la Organización de las Naciones Unidas (GHS, por sus siglas en inglés).

El Sistema Globalmente Armonizado (GHS, Globally Harmonized System) es el más reciente sistema de clasificación química, adoptado por el Comité de Expertos de las Naciones Unidas en el 2002. La primera edición fue adoptada en el 2004 y publicada en el 2005. La segunda revisión fue adoptada en el 2006 y publicada en el 2007 (Naciones Unidas, 2009; United Nations, 2005).

El GHS tiene dos propósitos principales (Naciones Unidas, 2009; United Nations, 2005; 2009):

- La continuidad en el uso de productos para todas las sustancias químicas a lo largo del ciclo de vida por medio de un sistema internacional comprensible para todos los países, reduciendo la necesidad de análisis y evaluaciones de las sustancias químicas.
- Facilitar el comercio mundial de productos químicos cuyas propiedades de peligrosidad son evaluadas e identificadas apropiadamente sobre una misma base a escala mundial.

Así, los objetivos son (Mora, *et al.*, 2015):

- Establecer un sistema comprensible de comunicación de riesgos, que asegure la protección de los trabajadores y del medio ambiente.

- Establecimiento de un marco jurídico para todos los países, que asegure el manejo seguro de los productos químicos.
- Reducir la necesidad de análisis y evaluación de los productos químicos.
- Facilitar el comercio internacional de los productos químicos cuyos riesgos han sido internacionalmente probados.

El Sistema Globalmente Armonizado (GHS) divide los productos peligrosos en: a) 16 categorías que se relacionan con el riesgo físico de las sustancias, b) 10 categorías relativas a los efectos en la salud de las sustancias químicas y c) 2 categorías con respecto al efecto e impacto al medio acuático de los productos químicos (Naciones Unidas, 2009; United Nations, 2005; 2009; Mora *et al.*, 2015).

Otros sistemas internacionales utilizados para la identificación de peligros y riesgos en los materiales peligrosos corresponden al sistema HMIS (Hazardous Material Identification System) y al Sistema del Rombo 704 de la Norma NFPA (National Fire Protection Agency). Ambos sistemas pueden ser utilizados durante el almacenamiento y el transporte de productos químicos, no obstante, se considera de mayor uso el sistema de la norma NFPA para el almacenamiento de productos y el sistema HMIS en la etapa del transporte de estos (WISHA, 2004; NPCA, 1996; Keller, 2003; NFPA, 1989; 2006).

Valores límites ambientales

La gestión del riesgo químico, específicamente los niveles de concentración de los contaminantes y/o emisiones gaseosas en los ambientes laborales requiere del conocimiento pleno y uso adecuado de los valores límites ambientales (VLA), los cuales son valores de referencia para las concentraciones de los agentes químicos presentes en el aire. Representan las condiciones laborales de la mayoría de los trabajadores a factores de exposición día tras día, durante toda su vida laboral, sin sufrir efectos adversos para su salud. Los VLA sirven exclusivamente para la evaluación y el control de los riesgos por inhalación de los agentes químicos. Se consideran las siguientes categorías de VLA (INSSBT, 2018; Myers, 2000; Bartual, 1987): A) Valor Límite Ambiental-Exposición Diaria (VLA-ED): es la concentración media del agente químico en la zona de respiración del trabajador medida o calculada

de forma ponderada con respecto al tiempo para la jornada laboral real y referida a una jornada estándar de 8 horas diarias y 40 horas semanales durante toda su vida laboral, sin sufrir efectos adversos para su salud (INSSBT, 2018; INSHT, 2019; Myers, 2000; Bartual, 1987); B) Valor Límite Ambiental de Exposición de corta duración (VLA-EC): Es la concentración media del agente químico en la zona de respiración del trabajador, medida o calculada para cualquier período de 15 min a lo largo de la jornada laboral; y C) Valor límite ambiental-Techo (VLA-C): es la concentración que no se debe sobrepasar en ningún momento de la exposición durante el trabajo. Para su valoración se admiten muestreos de 15 min, excepto para aquellas sustancias que puedan causar irritación inmediata con exposiciones muy cortas (INSSBT, 2018; Lynch, 2018; Korhonen, 2016).

Efectos de las sustancias químicas en la salud: Énfasis en emisiones gaseosas de volcanes

Las sustancias químicas más perjudiciales para la salud de las personas emitidas por los volcanes se resumen en el Cuadro 1. Su impacto se determina por la naturaleza del compuesto químico, las concentraciones emitidas y la influencia del viento y de las precipitaciones (Baxter y Horwell, 2015; Williams-Jones y Rymer, 2015).

Cuadro 1.

Propiedades físicas y químicas de interés de los gases emitidos por los volcanes que generan un riesgo para la salud humana

Com- puesto	Color	Olor	Den- sidad (Aire = 1)	So- lubi- lidad (g/L)	Per- cep- tible (ppm)	Peligrosidad
SO ₂ (g)	Azulado	Acre (Carac- terístico)	2,3	85	3,0	* Asfixiante * Muy tóxico
H ₂ S(g)	Amari- lento	Huevo podrido (Carac- terístico)	1,2	4,0	0,8	* Asfixiante * Muy inflamable

Com-puesto	Color	Olor	Den-sidad (Aire = 1)	So-lubi-lidad (g/L)	Per-cep-tible (ppm)	Peligrosidad
HCl(g)	Incoloro	Acre (Carac-terístico)	1,3	670	1 a 5	* Corrosivo * Muy irritante
HF(g)	Incoloro	Acre (Carac-terístico)	0,7	Cual-quier pro-por-ción	3,0	* Corrosivo * Muy irritante
HNO ₃ (ac)	Incoloro	Picante (Carac-terístico)	2,5	Cual-quier pro-por-ción	0,3	* Tóxico * Corrosivo

Fuente: elaboración propia

Dióxido de Azufre (SO₂(g))

Las cantidades que puede emitir un volcán de este compues-to por día son altas (más de 50 toneladas por día), esto lo con-vierte en uno de los responsables más significativos de causar impactos negativos en la salud de los habitantes de ambientes volcánicos. Aproximadamente el 90 % del gas se absorbe en el sistema respiratorio, donde reacciona para formar ácido sulfuro-so, posteriormente este ácido sulfuroso se oxida hasta producirse ácido sulfúrico (Williams-Jones y Rymer, 2015). Por otro lado, la oxidación de SO₂(g) en el aire es responsable del esmog áci-do (vog), muy perjudicial para la salud de personas y animales por su acidez, especialmente en individuos susceptibles (Sprowl, 2014). Las personas que se exponen esporádicamente al SO₂(g) conciben los primeros indicios de su presencia alrededor de los 5 ppm (13 mg/m³) debido a síntomas como: tos, sequedad y pi-cor de garganta, aceleración de la respiración (jadeo) y del pulso (Amdur *et al.*, 1953). Por el contrario, las personas que conviven usualmente con el gas sufren inflamación crónica de las vías res-piratorias, lo que a su vez causa la secreción de una mucosa que induce cierta tolerancia en el individuo (Ishigami *et al.*, 2008).

Existen múltiples efectos crónicos asociados al contacto con el SO₂(g), destaca el estrés oxidativo como el más grave de ellos. Este compuesto se consume durante la liberación del radical oxígeno y disminuye la actividad de las enzimas antioxidantes. Durante su interacción con las vías respiratorias, el SO₂(g) puede convertirse, al cabo de una serie de reacciones, en hidroperóxidos orgánicos, produce una vasta cantidad de radicales capaces de agobiar las defensas antioxidantes del cuerpo. El impacto oxidativo causado sobre cada individuo dependerá directamente de las defensas antioxidantes de cada organismo y de la proporción de sustancias oxidantes inhaladas (Gokirmak *et al.*, 2003). El mayor riesgo es que el estrés oxidativo puede resultar en una vasta diversidad de enfermedades realmente peligrosas para la salud de las personas. Se relaciona con enfermedades neurodegenerativas como pérdida de funcionalidad (ataxia) o disfunción sensorial (demencia) (Uttara *et al.*, 2009), así como el síndrome de parkinson, alzheimer, esclerosis múltiple, diabetes (micro-vascular y cardiovascular), hipertensión arterial, insuficiencia (renal y hepática), cataratas y cáncer (Elejalde, 2001; Giacco y Brownlee, 2010; Zalba, 2001). Aunado a esto, existe el riesgo de sufrir broncoconstricción debido a que el SO₂(g) puede inducir cambios en el tono muscular liso. La combinación de aire frío seco y concentraciones tan bajas como 0,5 ppm (1,3 mg/m³) de SO₂(g) son capaces de propiciar padecimientos (Bethel *et al.*, 1984; Gokirmak *et al.*, 2003). Altas concentraciones del gas han resultado en casos de asma agudos incluso en sujetos sin historial médico relacionado, por lo que se considera una sustancia capaz de producir el Síndrome de Disfunción Reactiva de Vías Respiratorias (RADS, por sus siglas en inglés) (Sprowl, 2014).

Casos de asma se han visto influenciados por las emisiones provenientes del Volcán Masaya, Nicaragua, en 2007, incluso a más de 30 km de distancia. Concentraciones tan bajas como 1 ppm (2,6 mg/m³) SO₂(g) son suficientes para ocasionar inconvenientes en algunas personas (Baxter y Horwell, 2015; Williams-Jones y Rymer, 2015; Delmelle, 2002). En el volcán Poás, Costa Rica, existen datos que indican la presencia de molestias respiratorias en los pueblos aledaños en dirección del viento (Bajos del Toro), durante el periodo activo que inició en 1986 y finalizó hasta 1995 (Baxter y Horwell, 2015).

En síntesis, el SO₂(g) es una sustancia irritante del tracto respiratorio, manifiesta sus síntomas por exposición aguda a través

de tos y disminución de la capacidad pulmonar. En contacto con membranas húmedas es capaz de formar $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{ac})$, disminuir el pH del organismo y causar serios detrimentos si las concentraciones aumentan lo suficiente (más de 10 ppm) (Chen *et al.*, 2007; IVHHN, 2019).

Sulfuro de hidrógeno ($\text{H}_2\text{S}(\text{g})$)

Las concentraciones ambientales de $\text{H}_2\text{S}(\text{g})$ suelen ser bajas, tiene un tiempo de vida en la atmósfera de 24 h debido a que puede oxidarse rápidamente; puede encontrarse en las cercanías del cráter en concentraciones entre (0,1 y 0,5) ppm (IVHHN, 2019). El $\text{H}_2\text{S}(\text{g})$ es más denso que el aire, por lo que se deposita y acumula en las zonas confinadas del terreno o grietas causando riesgo de asfixia (Hansell *et al.*, 2006).

El $\text{H}_2\text{S}(\text{g})$ inhibe mecanismos enzimáticos indispensables en el cuerpo humano y potencia otros, aunque no está claro si sucede de la misma manera que durante la falta de oxígeno. Se ha demostrado que su exposición puede alterar neurotransmisores cerebrales encargados del pensamiento cognitivo en individuos adultos, así como el desarrollo adecuado del tejido neuronal en niños y neonatos (Reiffenstein, 1992). Cuando las concentraciones exceden los 500 ppm es letal, debido a que provoca pérdida de conciencia inmediata y, si el individuo finalmente no es retirado del ambiente contaminado, puede morir de asfixia (Doujaiji y Al-Tawfiq, 2010). Estudios realizados para conocer el impacto crónico causado por contacto con pequeñas dosis de $\text{H}_2\text{S}(\text{g})$ indican que los efectos se identifican inicialmente sobre el sistema nervioso central, seguido por complicaciones respiratorias y cardiovasculares. La frecuencia entre incidentes en parques volcánicos de Japón forzó a las autoridades a instalar medidores continuos que están conectados a sistemas de alarma para los sitios frecuentes de visitación del volcán Aso y tener una vigilancia sobre las concentraciones de gases en el ambiente (Williams-Jones y Rymer, 2015).

Ácidos inorgánicos

Además de los compuestos de carbono y azufre de origen magmático, es común encontrar distintas especies ácidas

(HCl(g), HF(g), HNO₃(ac) y H₂SO₄(ac)) en cercanías volcánicas. La elevada solubilidad (descrita en el Cuadro 1) de estas sustancias les confiere el origen de la deposición ácida (lluvia ácida) y, por ende, de daños severos en la vegetación, la infraestructura y la salud de las personas (Baxter y Horwell, 2015; Williams-Jones y Rymer, 2015). Aunado a la lluvia ácida, la solubilidad de estos compuestos les permite disminuir el pH de algunas fuentes de agua potable hasta representar un riesgo importante para la salud de los consumidores. Organizaciones como la EPA, y la UE reglamentan que el ámbito del pH debe mantenerse entre 6,5 y 9,5 para agua potable; por su parte, la legislación costarricense lo delimita entre 6 y 8 (Poder Ejecutivo, 2015).

Los seres humanos pueden tolerar variaciones de pH en el agua de consumo, no obstante, cuando el pH es ácido (< 6,5) el agua puede ser corrosiva y podría arrastrar algunos metales (Al, Pb, Zn, Cu, Fe, Sn) a partir del sistema de tuberías, esto le aporta tanto mayores concentraciones de minerales, como sabor y color a óxido. Un pH alcalino (> 8,5) puede provocar la formación de incrustaciones en tuberías o sistemas de calentamiento por precipitación de sales (De Sousa *et al.*, 2010). Un pH del agua inferior a 4 es capaz de causar irritación y enrojecimiento de ojos; valores inferiores a 2,5 causan daño irreversible del epitelio (WHO, 1996).

Volcán Poás

En el volcán Poás se han realizado mediciones por parte del Laboratorio de Química de la Atmósfera (LAQAT-UNA) desde abril del 2017 (Figura 1), cuando se dio la erupción del cráter principal y propició el cierre del parque nacional por varios meses, debido a la peligrosidad a la que se podrían exponer los visitantes. Fue por tal motivo que se inició con la cuantificación de sustancias en el aire y su ciclo de vida de cuando son oxidadas en la atmósfera y regresan a la superficie con la precipitación húmeda. La Figura 1 muestra una vista de la caída de ceniza en el mirador del cráter del volcán, donde el alcance de la ceniza fue en la totalidad del parque, con una capa que superaba los 2 mm de ceniza a aproximadamente 1 km a la redonda del cráter activo.

Figura 1.

Vista del mirador del cráter del volcán Poás, 27 de abril del 2017



Fuente: archivo del OVSICORI.

El cierre del parque se dio por más de un año, mientras se cumplía con los requerimientos de seguridad y precaución para la visitación, los cuales incluían: mejora de las rutas de acceso y las rutas de evacuación, instalación de instrumentos

de medición de gases en diferentes puntos del parque, material de seguridad para la visitación, entre otros. Todas estas solicitudes para el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) estaban en función de la disminución de la actividad volcánica medida por el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (OVSICORI).

Las mediciones de SO₂ se realizaron desde el 2017 hasta el 2020 (Bolaños-Bolaños *et al.*, 2022; Ortiz, 2020) con sistemas de burbujeo que contenían peróxido de hidrógeno ligeramente ácido. El muestreo se realizó por cuatro horas en cada punto seleccionado para luego hacer el análisis en el Laboratorio de Química de la Atmósfera (LAQAT-UNA) por medio de cromatografía de iones. Los puntos de muestreo fueron seleccionados debido a las zonas donde históricamente se han dado visitación de los turistas o donde hay puestos de trabajo por parte de los guardaparques. El Cuadro 2 muestra los promedios anuales de los muestreos de cuatro horas de SO₂ en las zonas de muestreo durante los años de estudio. Durante el 2017, los muestreos generaron resultados interesantes para la toma de decisiones y para aprender sobre el comportamiento del SO₂ en el aire y la influencia que puede tener hacia el ambiente y a las personas que lo respiran. En el Cuadro 2, durante el 2017, se tuvo valores de SO₂ en concentraciones por debajo de 5 ppm (en 4 horas de muestreo), lo cual se refiere a que se tendrá una “sensación de olor a azufre”, por lo que las personas sentirán un olor sin causar un efecto agudo grave. En el 2017 se tuvo la excepción de un valor que llegó hasta los 18,7 ppm (en 4 horas de muestreo) en la casa de los guardaparques, que se encuentra a 5 km al sur del cráter del volcán. Con esta magnitud de SO₂ las personas ya podrían presentar problemas respiratorios y digestivos fuertes, mareos y, si se llega a 20 ppm, hasta la muerte. Para ese día, que se presentó el 11 de junio del 2017, los guardaparques tuvieron problemas respiratorios durante la noche, donde se presentaron estornudos, sangrado, tos, vómito y ahogo respiratorio. Con esto, los guardaparques recibieron la ayuda de los cuerpos de emergencia para salir de la casa y retirarse del área afectada hacia una zona con aire más limpio, con una baja concentración de SO₂. Los efectos disminuyeron unas horas después, pero al cabo de días fue disminuyendo la tos y la irritación que les causó.

Esta situación es un ejemplo de contaminación del aire, debido a las emisiones constantes de SO₂. En la Figura 2 se muestra

la dispersión calculada de SO₂ en el volcán Poás, con el software AERMOD (aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, US-EPA), donde se toma en cuenta las características de las emisiones, la meteorología de la zona, la topografía, y los receptores. La finalidad de utilizar este modelo matemático de pluma gaussiana es conocer el alcance de dispersión y la magnitud de la concentración de gases en el plano de la superficie. La Figura 2 se realizó para el 11 de junio del 2017, con una emisión de SO₂ de 1017 toneladas por día (<https://so2.gsfc.nasa.gov/>) y datos meteorológicos entre las 18 horas y las 24 horas. Para este día la afectación se estimó que fue en la totalidad del área del parque y los alrededores. Este proceso se dio debido a que, como se trataba de horas de la noche, una disminución de la altura de mezcla y a una estabilidad atmosférica según Pasquill Gifford tipo E o F (ligeramente estable o estable). La disminución de la altura de mezcla hace una compresión de la atmósfera, concentrando a los gases en un volumen menor de aire, cerca de la superficie y de paso, afectando a la población cercana. Durante este día, según la Figura 2, alrededor del cráter principal, se generan zonas de alta concentración de SO₂ que no necesariamente es en el propio cráter. Esta situación hace referencia a que se generan domos o zonas con masas de aire ricas en gases volcánicos que no se desplazan a lo largo de un área, sino que se almacenan y se acumulan en la atmósfera, debido también a la baja velocidad del viento y a la variación en la dirección del viento.



Cuadro 2.

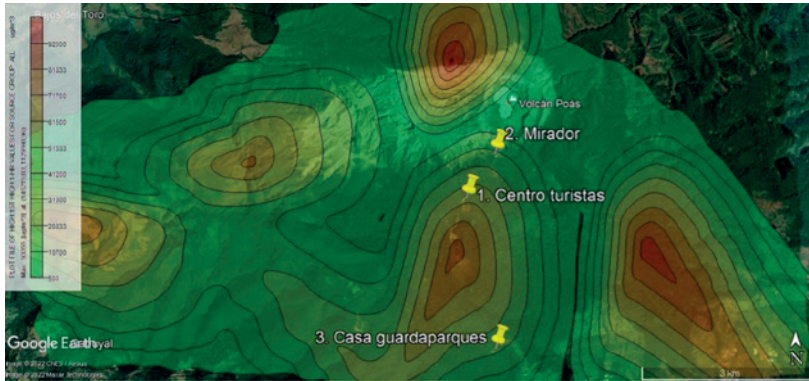
Concentración de SO₂ en aire, con muestreos de 4 horas, en los puntos de visitación o de trabajo en el volcán Poás, desde el 2017 al 2020.

Lugar	Concentración de SO ₂ (ppm)			
	2017	2018	2019	2020
Edificio turistas	< 0,1 - 3,8	0,1 - 0,4	< 0,1	0,08 a 0,44
Casa guardaparques	< 0,1 - 18,7	< 0,1 - 0,9	< 0,1	0,08 a 2,76
Colinas	< 0,1	-----	-----	-----
Mirador	< 0,1 - 1,9	0,4 - 2,2	0,2 a 0,6	0,04 a 0,16
Casetilla de cobro	-----	0,3 a 1,5	< 0,1	-----

Fuente: (Bolaños-Bolaños *et al.*, 2022; Ortiz, 2020)

Figura 2.

Dispersión del SO₂ emitido por el volcán Poás, calculado con el software AERMOD, el 11 de junio del 2017.



Fuente: archivo del OVSICORI.

La dirección predominante del viento en la zona es hacia el oeste y hacia el suroeste del cráter. Pero, con condiciones específicas de humedad relativa, temperatura, radiación solar, velocidad y dirección del viento, entre otros, hace que la pluma de emisión se dirija hacia otros lugares no habituales. Además, durante la noche, cuando no hay horas con radiación solar, se pueden generar domos de aire que son alimentados por las emisiones del cráter activo y se acumulan en la montaña, dando zonas donde se comprime la parte baja de la troposfera, por lo que la altura de mezcla disminuye su altura, con lo cual disminuye la altura de dispersión de los gases y estos se concentran. Estas condiciones son presentadas con baja velocidad del viento y falta de radiación solar, por lo que las masas de aire se concentran en la zona, se acumulan por la inyección de emisiones de SO₂, y no se dispersan en la atmósfera. Esta situación hizo que la Comisión Nacional de Emergencias (CNE) y el Ministerio de Salud tomaran las decisiones para mejorar la calidad de vida de los turistas, de los guardaparques y de la población que se podría ver afectada.

Según el Cuadro 2, entre el 2018 y el 2020 no se reportaron altas concentraciones de SO₂ durante los días que se realizaron las giras de muestreo. Pero esto no se refiere a que el ambiente es normal y con baja concentración de SO₂ para las personas y el ambiente. Por tal motivo, se propuso la compra de medidores portátiles de SO₂ para tener mediciones continuas

y rápidas que permitieran la toma de decisiones oportuna por parte de los guardaparques, ya que, anteriormente, por la falta de equipos, de educación ambiental y de riesgo químico, las mediciones de SO₂ (g) eran solamente olfativas. Durante el 2017, se tuvo la adquisición de cuatro equipos de medición de SO₂ (g) y H₂S (g), con tiempos de medición cada 5 segundos. Los guardaparques recibieron una capacitación sobre el uso, los cuidados y la lectura que brinda el equipo, así como el semáforo de concentración de SO₂, donde ellos tendrían el criterio técnico para hasta cerrar el parque (Figura 3).

Figura 3.
Niveles de concentración de dióxido de azufre (SO₂) asociado con la acción a tomar durante los periodos de visita del Parque Nacional Volcán Poás.

Condición	Respuesta del organismo
Verde (BUENO) (0,0 - 0,3 ppm) - (15 min)	Actividad normal
Amarillo (MODERADO) (0,3 - 0,5 ppm) - (15 min)	Acciones de protección básicas: <ul style="list-style-type: none"> • Alerta al personal • Información a los visitantes de la concentración de alerta
Naranja (INSALUBRES PERSONAS SENSIBLES) (0,5 - 1 ppm) - (15 min)	Acciones de protección moderadas: <ul style="list-style-type: none"> • Relocalización/cancelación de caminatas y trabajos al aire libre
Rojo (INSALUBRE) (Mayor de 1 ppm) - (15 min)	Acciones protectoras amplias: <ul style="list-style-type: none"> • Cierre del mirador al cráter y de ser necesario todo el parque

Fuente: elaboración propia.

Con las mediciones realizadas continuamente por los guardaparques, se dio la apertura del parque para la visitación en grupos de 50 personas, con su respectivo caso de seguridad, charla informativa (Figura 4) y equipos de medición y respuesta en caso

de una emergencia por la actividad volcánica o problemas físicos de los turistas.

Figura 4.
Capacitación realizada durante el 2018, sobre el uso de los
equipos de muestreo de SO₂ en el Parque Nacional Volcán Poás



Fuente: archivo del OVSICORI.

Durante el 2017, se realizaron mediciones de agua de lluvia en los alrededores del volcán Poás, como son las zonas de Casa de guardaparques, Mirador, Centro de Turistas, Llano Verde, Cirrí (Naranjo), La Arena (Grecia), Tacaes (Grecia) y Sabana Redonda (Poás). El Cuadro 3 muestra los parámetros analizados para el agua de la lluvia en los sectores que se encuentran entre el suroeste y el oeste del cráter principal, para conocer la posible influencia por la emanación de sustancias al aire por parte del volcán. Al respecto, los valores de pH en los puntos de muestreo demostraron un nivel ácido, ya que es menor a 4,5 en todos los lugares. Esto se debe a una posible influencia de las emisiones de las emisiones del volcán Poás y de la generación de contaminantes por parte de la actividad industrial y transporte en el Valle Central de Costa Rica. La concentración de aniones fue más alta en el punto más cercano del cráter, en el Mirador del parque, con valores que llegan hasta 205,1 mg/L para el ion cloruro y de 239,3 mg/L para el ion sulfato. Así se muestra la influencia de la actividad diaria del volcán sobre el agua de lluvia que precipita en el parque (Bolaños-Bolaños *et al.*, 2022).

Cuadro 3.
Mediciones fisicoquímicas del agua de lluvia en los alrededores del cráter principal del Parque Nacional volcán Poás.

Lugar	pH	Conductividad (µS)	F- (mg/L)	Cl- (mg/L)	NO3- (mg/L)	SO4-2 (mg/L)
Mirador	2,50 a 3,39	176 a 1120	< 2,5 a 15,5	< 1,2 a 205,1	< 0,8	20,0 a 239,3
Centro de Turistas	3,86	77,1	< 2,5	6,9	< 0,8	5,1
Casa guardaparques	3,65 a 5,22	7 a 123	< 2,5	< 1,2 a 17,1	< 0,8 a 1,3	< 0,8 a 23,7
Llano verde	3,40 a 4,17	35 a 138	< 2,5	1,6 a 19,2	< 0,8 a 8,9	< 0,8 a 51,4
Cirrí (Naranjo)	3,74 a 5,31	16 a 90	< 2,5	0,9 a 9,4	< 0,8 a 3,7	3,3 a 10,3
La Arena (Grecia)	3,68 a 6,70	12 a 109	< 2,5	1,0 a 27,4	< 0,8 a 6,4	< 0,8 a 26,4
Tacares (Grecia)	2,85 a 7,65	19 a 686	< 2,5	1,3 a 59,4	< 0,8 a 1,6	< 0,8 a 3,4
Sabana Redonda (Poás)	4,42 a 5,21	12 a 38	< 2,5	1,4 a 2,4	0,7 a 1,0	3,2 a 5,8

Fuente: elaboración propia.



Adicional a los estudios de agua de lluvia, se han realizado análisis del agua que se utiliza en los grifos del parque, ya que se trata de agua no potable, proveniente de la Laguna Botos, el cual es un antiguo cono volcánico ya extinto. Esta agua no utiliza un tratamiento previo al contacto con los usuarios, por lo que su vigilancia es indispensable como medida de prevención, con el fin de evitar problemas o afectaciones a futuro en la salud de la población y de los guardaparques, los cuales utilizan el agua de la Laguna Botos para bañarse, cocinar, entre otros. Durante el 2017, y años posteriores (hasta el 2021), el nivel de acidez en el agua de la Laguna Botos se ha mantenido entre 3,46 a 4,91 (Cuadro 4), por lo que se cataloga con un agua ácida para el consumo, razón por la cual, se debería hacer una desinfección y

una regulación del pH para que el agua sea apta para el contacto con las personas usuarias.

Cuadro 4.

Resultados de los parámetros del agua de la Laguna Botos del Parque Nacional Volcán Poás, cuantificados entre el 2017 y el 2021.

Año	Lugar	pH	Conductividad (µS)	F ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ⁻² (mg/L)
2017	Laguna Botos	3,46 a 3,66	189 a 214	1,5 a 1,9	7,9 a 25,1	< 0,8	32,1 a 64,9
2020	Laguna Botos	3,62 a 4,91	No dispone	0,35 a 0,36	2,80 a 10,20	0,18 a 0,38	24,00 a 30,47
2021	Laguna Botos	3,60 a 4,58	93,2 a 373,0	< LD a 0,15 LD: 0,10 mg/L	1,04 a 30,16	< LD a 2,14 LD: 0,31 mg/L	17,62 a 26,43

Fuente: elaboración propia.

Desde junio del 2020 se adquirió un par de drones marca DJI del modelo Matrice 600Pro, acoplado y modificado para el muestreo de aguas, con un carrete, una botella tipo Bayler y un brazo mecánico para el ascenso y el descenso del recipiente colector (Figura 5 a). La capacitación para realizar los muestreos en lagunas cratéricas se efectuó en agosto del 2019, en el Monte Kusatsu-Shirane, en el cráter Yugama de la Prefectura de Gunma, Japón, con el Dr. Akihiko Terada de la Tokyo University of Agriculture and Technology. La metodología tropicalizada se puso a prueba en el cráter activo del volcán Poás, específicamente en la laguna hiperácida, como una forma de obtener datos rápidos y de una manera más segura para los científicos. Se trata de la primera vez en Latinoamérica que se utiliza esta metodología. No es un sustituto del muestreo manual, pero sí es una forma adicional para obtener datos y muestras de cuerpos acuáticos con difícil acceso. Además, se pueden obtener muestras de diferentes partes de una laguna, cuando el muestreo manual se hace en uno de los costados del cuerpo de agua. Además, el análisis de la muestra se puede hacer *in situ*, para tener resultados con la muestra fresca y con las condiciones propias del cráter, ya que el

regreso del dron a sitio de despegue tarda alrededor de 4 min (Figura 5 b). Con esta metodología, adaptada por el LAQAT-UNA y el OVSICORI-UNA, se han realizado más de cuatro muestreos entre el 2021 y el 2022. Los resultados que se obtienen son congruentes con el nivel de actividad reportada con los muestreos manuales. El Cuadro 5 muestra los análisis químicos realizados a las muestras de la laguna hiperácida del volcán Poás, donde hay ligeras diferencias en los parámetros fisicoquímicos entre las fechas. Las muestras fueron recolectadas en el mismo sitio de la laguna, cerca de los restos del domo piroclástico (menos de 20 m) que fue destruido por las erupciones magmáticas de 2017, en donde ahora se tiene un respiradero subacuático con paredes verticales ("Boca A" o "La Isla"). La "Boca A" es el cráter subacuático más importante del volcán. La muestra de agosto tuvo mayor valor de pH y menor valor de concentraciones de F-, Cl-, NO₃-, Br-, PO₄-3, SO₄-2, Li+, Na+, NH₄+, K+ y Ca+2 que la muestra de junio. Esto se debe a que, durante agosto del 2021, en Costa Rica, hubo varios días con fuertes lluvias que diluyeron y estratificaron el agua del lago, con lo cual se disminuyeron las concentraciones de iones y aumentaron la acidez. La temperatura tuvo prácticamente el mismo valor durante los dos muestreos, alrededor de 40 °C. La literatura describe que la temperatura no es un parámetro clave en relación con la actividad freática (Rouwet *et al.*, 2016), por lo que es necesario medir diferentes parámetros para comprender el comportamiento y la evolución del lago hiperácido del Poás (Rowe, *et al.*, 1992). Por lo tanto, la aplicación UAV puede ayudar con este requisito.

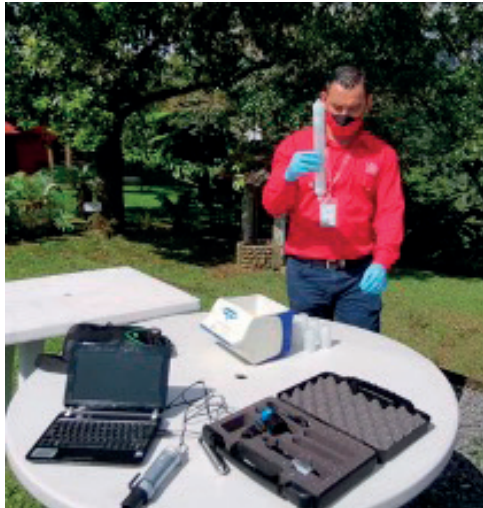
Figura 5.

- a) Fotografía del drone con la botella Bayler para muestreo.
- b) Danilo Umaña Castro realizando los análisis de las muestras de agua recolectadas

a)



b)



Fuente: archivo del OVSICORI.

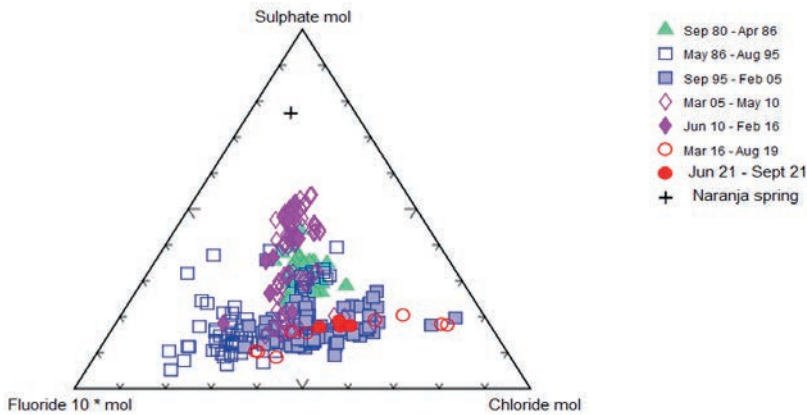
Cuadro 5.
Parámetros fisicoquímicos analizados a las muestras de agua hiperácida de la laguna del volcán Poás

Parámetro	Lago hiperácido del Poás (Junio 2021)	Lago hiperácido del Poás (Agosto 2021)
F-, mg/L	718 ± 30	270 ± 10
Cl-, mg/L	16905 ± 1680	8430 ± 128
Br-, mg/L	79 ± 9	< LD = 0,08
SO4-2, mg/L	19504 ± 209	7909 ± 239
Li+, mg/L	0,67 ± 0,04	0,06 ± 0,02
Na+, mg/L	404 ± 20	353 ± 19
NH4+, mg/L	< LD = 0,03	< LD = 0,03
K+, mg/L	79 ± 6	74 ± 5
Mg+2, mg/L	152 ± 14	321 ± 21
Ca+2, mg/L	828 ± 16	599 ± 13
pH	0,31	0,61
Temperatura, °C	40,0	39,1
Conductividad eléctrica, µS/cm	165 000	145 000
TDS, mg/L	82,6	66,3
DO, mg/L	1,29	2,05
ORP, mV	367,8	361,9

Fuente: elaboración propia.

Las relaciones iónicas de SO4-2/Cl- de las muestras del 2021 estuvieron alrededor de 1, con valores de 1,02 y 0,92 respectivamente, lo que indica que se trata de un lago con composición relativa similar entre los 2 meses (Figura 6). Las relaciones Mg+2/Cl- fueron de 0,0082 y 0,0375, respectivamente, lo que podría indicar una mayor interacción del agua subterránea con una "roca plástica caliente" debido a la invasión de agua meteórica a niveles profundos del sistema magmático-hidrotermal en agosto-septiembre del 2021. Los datos del lago hiperácido registrados por OVSICORI-UNA a partir de muestras recolectadas manualmente en el borde nororiental del lago en agosto y septiembre de 2021 concuerdan con los datos recolectados por drones en la campaña de agosto. Estos valores se corresponden

con la composición del lago observada durante la subetapa IVE entre 2003-2005, que fue un período de rápido crecimiento del volumen del lago acompañado de una disminución en el flujo de volátiles al lago (Martínez *et al.*, 2019; Rouwet *et al.*, 2019).



Como parte de la gestión con la divulgación y la socialización de los resultados, se han realizado charlas y capacitaciones con guardaparques y la comunidad cercana, para el aprendizaje de las personas de vivir con un volcán activo y utilizar el conocimiento de las personas para retroalimentar las investigaciones que se efectúan. Por lo anterior, se han generado encuestas y trabajos de investigación a cargo de estudiantes, para mejorar las condiciones laborales de los guardaparques. El estudiante de Licenciatura en Química Industrial Erick Ortiz Apuy realizó un estudio de la epicrisis de unos guardaparques que voluntariamente optaron por participar y dar seguimiento a los padecimientos que podían presentar por la actividad diaria, los factores hereditarios, la calidad de vida que llevaban o la actividad física. Once guardaparques participaron en el proceso, en donde manifestaron que la principal problemática está relacionada con la irritación de mucosas-ojos, irritación de la piel, dolores de cabeza y fatiga. El impacto a cada individuo depende de la concentración de las sustancias a las que se presenta y del tiempo de exposición, así como la tolerancia del cuerpo ante los gases (Williams-Jones y Rymer, 2015; Alvarado, 2006). En el Cuadro 6 se muestran las sintomatologías brindadas por los entrevistados y extraídas de los expedientes médicos (epicrisis). Se evidencia que las patologías más frecuentes son las desarrolladas en las vías respiratorias superiores (faringitis, laringitis, rinitis,

sinusitis y epistaxis) y las vías respiratorias inferiores (bronquitis y broncoespasmos) (Ortiz, 2020).

Cuadro 6.
Patologías presentadas por parte de los once guardaparques de los Volcanes Poás y Turrialba

Patología	Cantidad de funcionarios con la patología
Tos	6
Dolor torácico	4
Disnea	2
Irritación Cutánea	2
Irritación de mucosas/ojos	9
Faringitis	7
Náuseas	2
Mareos	3
Dolores de cabeza	8
Pérdida del sueño	7
Fatiga	8
Presión arterial	7
Hiporexia	2

Fuente: elaboración propia

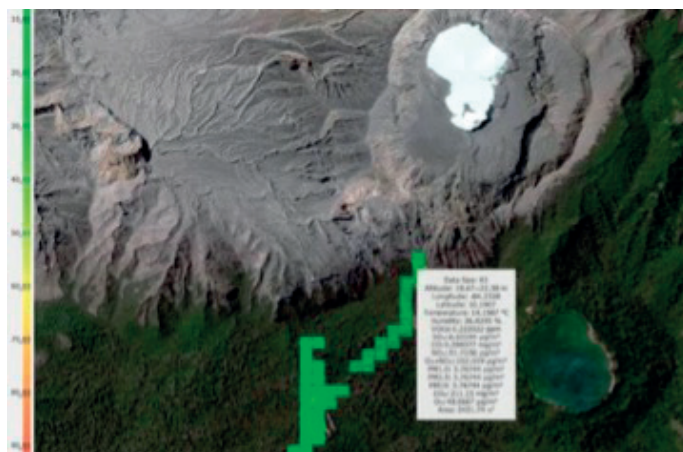


El SO₂(g) es irritante y afecta las vías respiratorias. Cuando ingresa al organismo humano, se absorbe en su mayoría (40 % a 90 %) en la parte superior de las vías respiratorias, ya que tiene una ligera solubilidad en el agua presente en el cuerpo. La reacción con agua produce especies oxidadas de azufre (SO₂-, SO₃2-, HSO₃-, H₂SO₃ y H₂SO₄) que provocan efectos agudos como sequedad e irritación del tracto respiratorio. La mucosa nasal es capaz de remover efectivamente el SO₂(g) inhalado; sin embargo, cuando ingresa a través de la cavidad bucal, debido a la necesidad de inhalar más oxígeno para cumplir con las funciones biológicas, el gas ingresa hasta la mucosa pulmonar, derivando en broncoconstricción, con lo cual se obstruyen las vías respiratorias y aumenta la dificultad para respirar (disnea). El SO₂ genera una obstrucción en los alveolos, no ingresa al cuerpo e impide la captación de oxígeno molecular en el cuerpo, por lo que el ser

humano siente la necesidad de respirar más fuerte y tiene situaciones de ahogo (Chen *et al.*, 2007). El trabajo de tesis realizado por David Morales Alpízar, estudiante de Química Industrial, se enfocó en la medición de SO₂ y H₂S en puntos de visita por las personas en el Parque Nacional volcán Poás, específicamente: caseta cobro, centro visitantes, mirador volcán y casa guardaparques, entre septiembre del 2018 a diciembre 2019. Además, se comparó los valores con estándares de exposición a sustancias en el aire, como el STEL (exposición a 15 min) y el TWA (exposición a 8 horas). El TWA no se superó durante todo el periodo de muestreo, muestras que el STEL se superó en más de 50 veces, lo que refleja que la exposición a gases azufrados puede ser alta en periodos de exposición baja y que las condiciones para que se den afectaciones a la salud serían inmediatas, debido a situaciones localizadas (Morales, 2022).

Mediciones realizadas por Ian Godfrey en el volcán, utilizando un drone Mavic 3, equipado con un medidor de gases Sniffer 4D, para la medición de temperatura, humedad, SO₂, VOC's, CO, CO₂, O₃ + NO₂, O₃, PM_{1.0}, PM_{2.5} y PM₁₀, encontraron para el 20 de febrero del 2022 (Figura 7), que se trata de un ambiente con concentraciones bajas de las sustancias analizadas dentro del parque. Las concentraciones de los PM estuvieron en promedio por debajo de los 10 µg/m³. Las concentraciones de SO₂ tuvieron un máximo de 42,8 µg/m³, lo que demuestra que, para ese día de análisis, no habría afectación para las personas que visitan el lugar. La pluma emitida por el volcán se dirigía hacia el oeste del cráter y las mediciones se efectuaron al sur del foco emisor.

Figura 7.
Análisis realizado por el Sniffer 4D dentro del Parque Nacional
Volcán Poás, para el 20 de febrero del 2022



Fuente: archivo del OVSICORI.

En el volcán Poás y alrededores se han realizado una serie de investigaciones por parte de los estudiantes con el apoyo del LAQAT-UNA, entre ellos: Tesis de Erick Ortiz Apuy (UNA), Tesis de David Morales Alpízar (UNA), Tesis de María José Carvajal Méndez (UNA), Tesis de Daniel Porras Ramírez (UNA), Tesis de Christian Vargas Jiménez (UNA), Proyecto de graduación Karla Bolaños (UCR), Proyecto de graduación de Daniela Flores (UCR), Práctica Profesional de Roberto González (UCR) y Tesis de Viviana Paniagua Hernández (UCR).

Volcán Turrialba

El volcán Turrialba inició su actividad volcánica en el 2009, con emanaciones de gases y ceniza. Para el 2015 se dio una serie de fuertes emanaciones por parte del nuevo cráter formado. El 18 de mayo del 2015 se presentó una erupción fuerte en donde se formó una columna de más de 3 km de ceniza (Figura 8) y se dispersó hacia el Valle Central, lo cual generó problemas de visibilidad y tránsito aéreo. La Figura 9 muestra la visibilidad en el aeropuerto Juan Santamaría y el cierre repentino que se tuvo que realizar debido a la cantidad de ceniza que había suspendida en el aire y precipitada en la pista.

Figura 8.
Erupción del volcán Turrialba para el 5 de abril del 2015
(<http://www.ovsicori.una.ac.cr/>).



Fuente: archivo del OVSICORI.

Figura 9.
Afectaciones por la caída de ceniza en el Valle Central.
a. Vista de Aeropuerto Internacional Juan Santamaría
el 18 de mayo del 2015 con la caída de ceniza sobre la pista
(<https://www.diarioextra.com/Noticia/detalle/255152/aeropuerto-juan-santamar-a-estar-cerrado-hasta-ma-ana>);
b. Vista de Guadalupe de Goicoechea
de la erupción del 18 de mayo del 2015

a)



b)



Fuente: archivo del OVSICORI.

A partir de esta situación se inició con los modelos de dispersión con el programa AERMOD, para alertar a las instituciones tomadoras de decisiones sobre los lugares con posible caída de ceniza. Las instituciones que, desde el inicio, se vieron favorecidas con esta herramienta fueron: la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE), la Dirección General de Aviación Civil (DGAC), el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) y la Oficina Nacional Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés). A partir de esta situación se habilitó una página web del Observatorio Ambiental de la Universidad Nacional (<http://www.observatorioambiental.una.ac.cr/>) para la consulta pública de los mapas de dispersión de ceniza y de SO₂. Con esta herramienta, el país tuvo un instrumento adicional para la toma de decisiones y para alertar a la población sobre una erupción volcánica y una posible afectación al menos una hora antes que cayera ceniza en la zona de residencia o trabajo. Desde el 2015 hasta la fecha se han realizado las estimaciones de la dispersión de gases y partículas en el aire todos los días entre las 5:00 a.m. y las 6:00 a.m., y en el momento que se presente una erupción volcánica.

Para mejorar la resolución de las estimaciones, se han realizado comparaciones con mediciones en campo y con los reportes de las personas que están teniendo afectaciones por las emanaciones volcánicas. Tal es el caso de la tesis de la estudiante de Ingeniería en Gestión Ambiental, Daylin Francis Anchía Pastrán, en donde se efectúa un análisis de los problemas respiratorios

que se dieron en la zona de Coronado junto con mediciones de campo por parte de la Estación de Medición de Gases y Aerosoles de Origen Volcánico del OVSICORI. Dicho estudio colaboró para entender cómo una masa de aire con gases y partículas puede aumentar la afluencia de personas a los centros de salud por problemas respiratorios. Este estudio brindó mediciones de concentración de material particulado en el aire que alcanzaron valores por encima de los 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Por tal motivo, se tuvo ingresos en el Área de Salud de Coronado de hasta 7000 casos por mes (junio del 2017) (Anchía, 2022).

Las mediciones de ceniza se dieron también como parte del trabajo realizado por Jordan Moraga Cortés, estudiante de la carrera de Laboratorista Químico de la Universidad de Costa Rica, en donde se midió la composición y la forma de las partículas de la ceniza emitida debido a las erupciones durante el 2018. Las muestras fueron recolectadas en Guadalupe de Goicoechea, San José, lugar donde se presentó caída de ceniza de manera constante entre el 2015 y el 2018. Además, se realizó un estudio de la composición de la lixiviación de la ceniza, para conocer el aporte por solubilización de sustancias en agua y su arrastre al suelo o mantos acuíferos. Para este análisis se midió una masa aproximada de 0,1500 g de ceniza y se colocaron en cápsulas de porcelana. A la cápsula se les añadió 5 mL de agua desionizada y se colocó en baño ultrasónico durante 10 minutos. El agua de lavado obtenida se separó del residuo sólido para el análisis. El Cuadro 7 muestra los resultados de los análisis de aniones recolectados en el estudio de lixiviación de las cenizas del volcán, en donde la concentración de sulfatos se mantiene alta en cada una de las muestras y hay un aporte de iones F⁻ y Cl⁻. Según Ryczel (2006), las principales vías de absorción del fluoruro son la inhalación o la ingestión. Una vez dentro del organismo, puede causar una serie de complicaciones como corroer la mucosa gástrica, precipitar al ion calcio, interfiere en los sistemas enzimáticos, inhibe la respiración celular y se acumula en muchas zonas del cuerpo, en especial en los huesos. El pH del lixiviado estuvo por debajo de 2,0, lo cual refleja una acidez debido al lavado de las cenizas que naturalmente se puede generar por la lluvia. Las concentraciones obtenidas de cloruros, nitratos y sulfatos pueden generar un impacto en la fertilidad de los suelos, ya que puede promover un incremento en la acidez de este. Los suelos neutros son los que se catalogan como los más fértiles, en donde a un

pH neutro, el suelo tiene una fase saturada de iones básicos (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+). Estos cationes se unen a especies aniónicas como Cl^- , NO_3^- y SO_4^{2-} , forman pares iónicos los cuales, por un proceso de lixiviación, son arrastrados por el agua. La pérdida de estos iones en el suelo genera un aumento de la acidez (Espinosa y Molina, 1999).

Cuadro 7.

Resultados de concentración de aniones en las muestras de lixiviado de las cenizas de las erupciones del volcán Turrialba durante el 2018.

Mes	Concentración (mg/L)			
	Fluoruros	Cloruros	Nitratos	Sulfatos
Julio (n = 2)	< 0,1	82,8 ± 7,9	1,0 ± 0,1	309,1 ± 7,3
Agosto (n = 2)	5,7 ± 0,3	74,9 ± 8,8	1,3 ± 0,1	228,6 ± 6,9
Noviembre (n = 3)	10,3 ± 1,5	37,2 ± 9,0	2,3 ± 0,4	356,1 ± 7,8

Fuente: elaboración propia

En el Cuadro 8 se muestran los resultados obtenidos de composición porcentual de óxidos de los elementos encontrados en las muestras de ceniza del volcán. Este análisis se realizó en el Laboratorio Nacional de Nanotecnología (LANOTEC), coordinado por el Dr. José Vega Baudrit, en el Microscopio de Barrido Electrónico (SEM), operado por Reynaldo Pereira Reyes. Los resultados indican que la composición de la matriz de vidrio de los clastos juveniles recolectados se caracteriza por tener un contenido relativamente alto de SiO_2 (entre 47,35 % y 55,65 %). La relación de álcalis totales (Na_2O+K_2O , wt. %) versus sílica (SiO_2 , wt. %) indica que los clastos estudiados se caracterizan por una composición intermedia en SiO_2 y clasifica como basalto traquita, con tendencias a traquita. Además, el alto contenido de aluminio en el sólido podría generar un problema a la salud, si la exposición es por largos periodos de tiempo, al ingresar al organismo vía inhalación e ingestión. El aluminio puede causar una serie de problemas, los cuales son: retrasar la evacuación gástrica, estreñimiento crónico, fibrosis pulmonar y Alzheimer, producto de la acumulación y la formación de compuestos entre el metal y el ion fluoruro (Trejo y Hernández, 2004). La deposición de los demás

óxidos podría tener efectos positivos o negativos en la fertilidad de los suelos. La literatura señala que la presencia de aluminio y hierro en los suelos aumenta la acidez de estos (Garrido, 1994). Por otro lado, la presencia de cationes alcalinos y alcalinotérreos es beneficiosa ya que son los iones que utilizan las plantas para crecer, mientras que la presencia de sílice puede ser beneficiosa o no, de acuerdo a las cantidades en las que se encuentre disponible (Herrera, 2011).

Cuadro 8.

*Porcentajes promedio de óxidos de elementos
obtenidos de las muestras de ceniza de las erupciones
del volcán Turrialba durante el 2018.*

Compuesto	Julio		Agosto	
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 1	Muestra 2
Na_2O	3,46	4,80	4,75	4,36
MgO	1,06	1,89	1,29	1,34
Al_2O_3	27,19	35,20	40,88	30,98
SiO_2	55,65	47,35	47,71	55,39
K_2O	7,84	2,93	4,31	5,09
CaO	4,13	7,98	3,33	3,23
Fe_2O_3	18,36	20,96	30,88	25,64

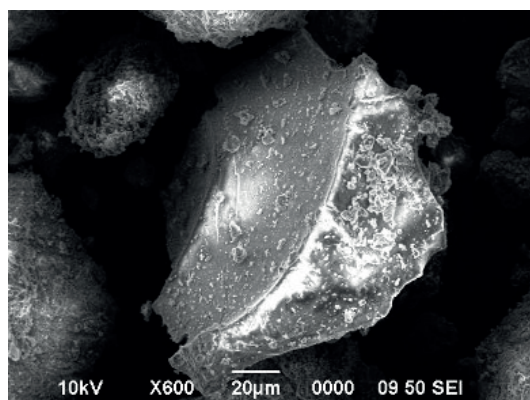
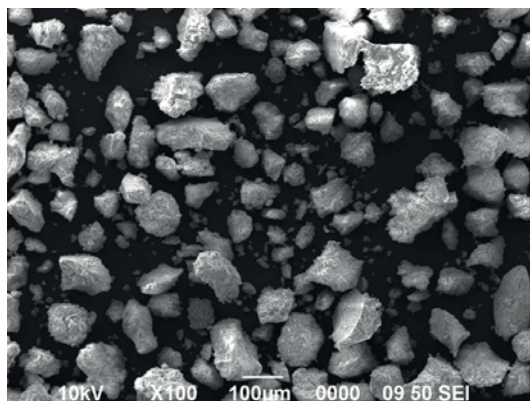
Fuente: elaboración propia

Como se observa en las Figura 10, las muestras de ceniza sin lavar presentan un tamaño de partículas muy heterogéneo. Aunque las imágenes obtenidas de las muestras analizadas no indican el tamaño exacto de cada una de las partículas, se observan partículas muy pequeñas en algunas muestras (posiblemente menores a dos micrómetros), las cuales podrían alcanzar incluso el árbol traqueo-bronquial o los alvéolos. Las partículas también absorben y arrastran gases emanados por la actividad volcánica. De las cenizas analizadas, uno de los compuestos que se cuantificó en mayor cantidad fue el ion sulfato, dicho ion indica la presencia de compuestos azufrados, donde, según estudios, la presencia de azufre en las partículas de ceniza que son respiradas puede causar estados de hiperreactividad bronquial, así como lesionar la mucosa de las vías áreas inferiores, incluso

puede generar alteraciones obstructivas crónicas (Organización Panamericana de la Salud, 2005).

Figura 10.

*Muestra de partículas de ceniza (sin lavar)
analizada con el microscopio de barrido electrónico.*



Fuente: archivo del OVSICORI.

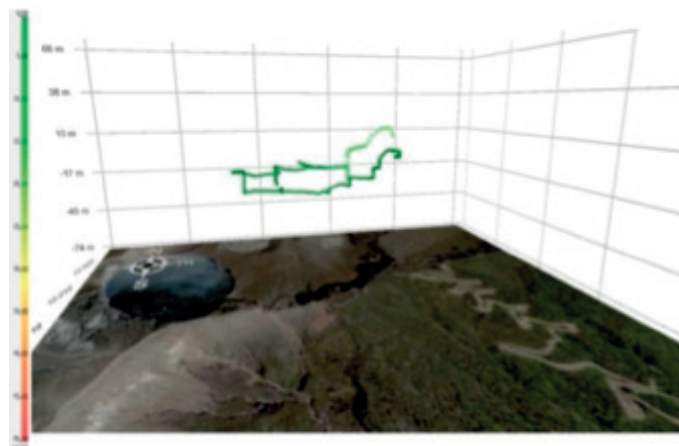
Mediciones realizadas entre el 2018 y el 2019, por parte de Erick Ortiz Apuy, generaron valores de SO₂, H₂S y ácidos en aire en una serie de puntos donde hay visitación de los turistas y donde los guardaparques están realizando las labores de vigilancia. El estudio realizó muestreos puntuales aleatorios alrededor del foco emisor de gases y de partículas, donde las concentraciones de los gases y los aerosoles medidos estaban en niveles bajos o por debajo del límite de cuantificación de cada método. Este estudio sirvió de base para la toma de decisiones y la colocación

de un instrumento de medición de gases en la caseta de cobro, para monitorear la concentración de gases $\text{SO}_2(\text{g})$ y $\text{H}_2\text{S}(\text{g})$ al sur del cráter principal del volcán, que se refiere al área por donde se da el ascenso de los turistas al mirador. Por lo tanto, es un punto importante para identificar si es posible el ascenso a la cima y el tiempo de estadía en la zona, decisiones que permiten prevenir los problemas en las personas por la exposición a gases volcánicos. Las sustancias ácidas analizadas en el parque se mantuvieron por debajo del límite de detección para los puntos muestreados (casa guardaparques, casetilla de cobro y mirador del cráter), a saber: $\text{HCl}(\text{g})$ ($< 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$), $\text{HF}(\text{g})$ ($< 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$), $\text{HNO}_3(\text{ac})$ ($< 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y $\text{H}_2\text{S}(\text{g})$ ($< 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Los resultados de concentración del dióxido de azufre estuvieron entre $0,01 \text{ mg}/\text{m}^3$ hasta $(0,40 \pm 0,04) \text{ mg}/\text{m}^3$, en un periodo de 3 horas. Los resultados más importantes corresponden a la caseta de cobro del parque, donde el 22 de agosto y el 05 de octubre del 2018 se obtuvieron datos de $(0,10 \pm 0,01) \text{ mg}/\text{m}^3$ y $(0,40 \pm 0,04) \text{ mg}/\text{m}^3$, respectivamente (Ortiz, 2020).

Mediciones realizadas por Ian Godfrey, el 7 abril del 2022, en el volcán Turrialba, con el Sniffer 4D conectado a un drone Mavic 3, generaron datos sobre las emisiones del cráter principal del volcán (Figura 11), en donde las concentraciones son bajas, debido a la dispersión hacia el oeste de la fuente de emisión. La Figura 11 muestra el vuelo realizado y las concentraciones de SO_2 medidas, donde no se supera los $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Para las demás sustancias, se tuvo valores de PM de hasta $33,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para los PM10, $32,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para los PM2.5 y $31,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para los PM1.0. Estos valores, a pesar de haber llegado al borde este del cráter principal, no representan una magnitud tal que genere una afectación para las personas presentes en el parque, para ese día y esas condiciones meteorológicas presentadas durante la medición.

Para las aperturas al público del Parque Nacional Volcán Turrialba, se generan charlas de capacitación para los guías que se encargarán de llevar a los turistas al mirador del cráter. Las charlas se basan en peligros volcánicos, medidas de seguridad, plan de emergencias y rutas de evacuación, están a cargo del SINAC, la CNE, el OVSICORI y el LAQAT-UNA. La Figura 12 representa la capacitación brindada a los guías turísticos para el 7 y el 8 de junio del 2022, donde el primer día fue de charlas por parte de los expertos y el segundo día es de campo, con un ascenso desde la entrada al parque, en la Finca Monte Calas, caminando los 8 km entre el ascenso y el descenso al mirador del cráter.

Figura 11.
Mapa 3D de las mediciones con drone Mavic 3 y un analizador de gases y partículas Sniffer 4D desde el mirador hasta el borde este del volcán Turrialba, abril 2022



Fuente: archivo del OVSICORI.

En el volcán Turrialba y alrededores se han realizado una serie de investigaciones por parte de los estudiantes con el apoyo del LAQAT-UNA, entre ellos: Tesis de Daylin Anchía Pastrán (UNA), Tesis de Jovany Prendis (UNA), Proyecto de graduación Jordan Moraga (UCR) y Tesis de Mónica Jiménez Seas (UCR).

Figura 12.
Capacitación a los guías turísticos para la apertura del Parque Nacional Volcán Turrialba, junio 2022.



Fuente: archivo del OVSICORI.

Bibliografía

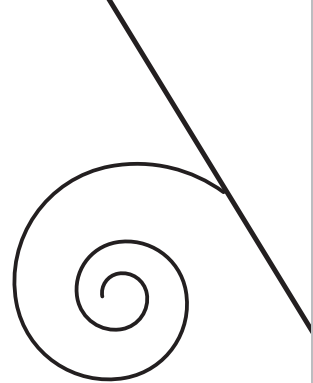
- Aguilar, F., Bernaola, A., Rams Sánchez, P., Sousa, M., Tanarro, C., Tejedor, J. (2010). Riesgo Químico: sistemática para la evaluación higiénica. Centro Nacional de Nuevas Tecnológicas, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). España.
- Alvarado, X. (2006). Impacto en la salud ambiental por efecto de emisiones de dióxido de azufre del Volcán Arenal, en la población de la Fortuna de San Carlos *Rev. Costarric. Salud Pública*, 15(29), 25-34. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-14292006000200004.
- Amdur, M., Melvin, W., Drinker, P. (1953). Effects of inhalation of sulphur dioxide by man, 2, 758-759. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(53\)91455-x](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(53)91455-x).
- Anchía, D. (2022). Análisis de la calidad del aire en San Isidro de Coronado y los riesgos a la salud en relación con el material particulado y el dióxido de azufre emanado por el volcán Turrialba durante el período de 2016-2018. Tesis para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Gestión Ambiental, Universidad Nacional (en revisión).
- Bartual, J., Guardino, X. (1987). NTP 244: Criterios de Valoración en Higiene Industrial. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo; España.
- Baxter, P.; Horwell, C. (2015). Impacts of Eruptions on Human Health: The Encyclopedia of Volcanoes; Sigurdsson, H., Ed.; Academic Press: Amsterdam; 1035-1047. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385938-9.00060-2>.
- Bethel, R., Sheppard, D., Epstein, J., Tam, E., Nadel, J., Boushey, H. (1984). Interaction of sulfur dioxide and dry cold air in causing bronchoconstriction in asthmatic subjects. *J. Appl. Physiol*, 57(2), 419-423. <https://doi.org/10.1152/jappl.1984.57.2.419>.
- Bolaños-Bolaños, K., Alfaro-Solís, R., Sibaja-Brenes, J. P. (2022). Mediciones y el modelaje de la concentración del dióxido de azufre y de la composición del agua de lluvia en los alrededores del volcán Poás durante el 2017. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres* (en revisión).
- Chen, T., Gokhale, J., Shofer, S., Kuschner, W. (2007). Outdoor Air Pollution: Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide, and Carbon

- Monoxide Health Effects. *Am. J. Med. Sci.*, 333(4), 249-56. <https://doi.org/10.1097/MAJ.0b013e31803b900f>.
- De Sousa, C., Correia, A., Colmenares, M. (2010). Corrosión e incrustaciones en los sistemas de distribución de agua potable: Revisión de las estrategias de control. *Bol. Mal. Salud. Amb.*, 50(2). (Accesado 22 de octubre del 2019). Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1690-46482010000200003.
- Doujajji, B., Al-Tawfiq, J. (2010). Hydrogen sulfide exposure in an adult male. *Ann. Saudi. Med.*, 30(1), 76-80. <https://doi.org/10.4103/0256-4947.59379>.
- Elejalde Guerra, J. I. (2001). Estrés Oxidativo, Enfermedades y Tratamientos Antioxidantes. *An. Med. Interna*, 18(6), 50-59. Disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-71992001000600010.
- Espinosa, J & Molina, E. (1999). Acidez y encalado de los suelos. IPNI. Recuperado de: <https://bit.ly/2BOzXUx>.
- Garrido, M. (1994). Interpretación de análisis en suelos. España: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Recuperado de: <https://bit.ly/2Ecpy8T>.
- Giacco, F., Brownlee, M. (2010). Oxidative Stress and Diabetic Complications. *Circ Res*, 107 (9), 1058-1070. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.110.223545>.
- Gokirmak, M., Yildirim, Z., Canan Hasanoglu, H., Koksall, N., Mehmet, N. (2003). The Role of Oxidative Stress in Bronchoconstriction Due to Occupational Sulfur Dioxide Exposure. *Clin Chim Acta*, 331(1), 119-126. [https://doi.org/10.1016/S0009-8981\(03\)00117-7](https://doi.org/10.1016/S0009-8981(03)00117-7).
- Hansell, A., Horwell, C. J., Oppenheimer, C. (2006). The Health Hazards of Volcanoes and Geothermal Areas. *Occup. Environ. Med.*, 63, 149-156. <https://doi.org/10.1136/oem.2005.022459>.
- Herrera, A. (2011). Efecto del silicio en la fertilidad del suelo, en la incidencia de enfermedades y el rendimiento del cultivo de arroz (*Oryza sativa*). Tesis de grado. Recuperado de: <https://bit.ly/2SGrNW1>.
- INNSSBT, Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo (INNSSBT). (2018). Límites de exposición profesional para agentes químicos en España. Madrid.
- INSHT, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2004). RISKQUIM: productos químicos: identificación y clasificación de peligrosidad. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Madrid, España.

- International Volcanic Health Hazard Network (IVHHN). (2019). hydrogen sulfide (H₂S) (Access 23 of October, 2019). Available at: <https://www.ivhhn.org/es/guidelines/guia-sobre-gases-volcanicos/hidrogeno-de-sulfuro>.
- Ishigami, A., Kikuchi, Y., Iwasawa, S., Nishiwaki, Y., Takebayashi, T., Tanaka, S., Omae, K. (2008). Volcanic sulfur dioxide and acute respiratory symptoms on Miyakejima island. *Occup Environ Med*, 65, 701-707. <https://doi:10.1136/oem.2007.033456>.
- Keller, J. (2003). HMIS - hazardous materials identification system - The new HMIS III is now available. *PIGMENT AND RESIN TECHNOLOGY*, 32, no. 6: 4-4. Wis, USA.
- Korhonen, K., Liukkonen, T., Ahrens, W., Astrakianakis, G., Boffetta, P., Burdorf, A., Heederik, D. *et al.* (2004). Occupational Exposure to Chemical Agents in the Paper Industry. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*. Oct;77(7):451-60. <https://doi:10.1007/s00420-004-0530-5>.
- Lynch, H. N., Prueitt, R. L., Goodman, J. E. (2018). Critique of the ACGIH 2016 Derivation of Toluene Diisocyanate Threshold Limit Values. *Regul. Toxicol. Pharmacol*, 97 (June), 189-196. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2018.06.017>.
- Mora, J.; Sibaja, J.; Umaña, W.; Zamora, R. (2015). Sistemas de información para la identificación y clasificación de peligros y riesgos de productos químicos. Editorial Universidad Nacional de Costa Rica.
- Moraga, J. (2019). Caracterización de las cenizas expulsadas por el volcán Turrialba y su posible efecto sobre los alrededores, en el periodo de Julio-Noviembre del 2018. Proyecto Industrial, Bachillerato en Laboratorista Químico, Universidad de Costa Rica.
- Morales, D. (2022). Nivel del riesgo químico de la exposición laboral a compuestos azufrados en el Parque Nacional Volcán Poás. Tesis para optar por el grado de Licenciatura en Química Industrial, Universidad Nacional (en revisión).
- Myers, B., Brantley, S. R., Stauffer, P., Li, W. H. (2000). USGS Fact Sheet 144-00; Virginia, 5.
- Naciones Unidas. (2009). Sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos (SGA). United Nations Pubns. Londres.
- NFPA, National Fire Protection Association. (1989). National fire codes: a compilation of NFPA codes, standards, recommended practices, manuals and guides. National Fire Protection Association. USA.

- NFPA, National Fire Protection Association, National Fire Protection Association & Technical Committee on Classification, Properties of Hazardous Chemical Data. (2006). NFPA 704, Standard System for the Identification of the Hazards of Materials for Emergency Res.
- NPCA, National Paint and Coatings Association. (1996). Hazardous materials identification system implementation manual: HMIS. Labelmaster. Chicago, IL, USA.
- Organización Panamericana de la Salud. (2005). Salud ambiental y el riesgo volcánico. Ecuador: OPS. Recuperado de: <https://bit.ly/2PwsfUD>.
- Ortiz, E. (2020). Evaluación de los efectos causados por la exposición a gases en ambientes frecuentados por parte de funcionarios de los parques nacionales Volcán Poás y Volcán Turrialba. Tesis para optar por el grado de Licenciatura en Química Industrial, Universidad Nacional.
- Poder Ejecutivo de Costa Rica. (2015). Ley N° 38924-S: Reglamento para la calidad del Agua Potable. Disponible en: http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=80047.
- Reiffenstein, R., Hulbert, W., Roth, S. (1992). Toxicology of Hydrogen Sulfide. *Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol.*, 32, 109-134. <https://doi.org/10.1146/annurev.pa.32.040192.000545>.
- Ryczel, M. (2006). Flúor y agua de consumo –su relación con la salud controversias sobre la necesidad de fluorar el agua de consumo. *Boletín de la ATA* 72, 21-26. Recuperado de: <https://bit.ly/2PudOR1>.
- Sprowl, G. (2014). Hazards of Hawai'i Volcanoes National Park. *Hawaii J Med Public Health*, 73 (11), 17–20. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4244893/>.
- Trejo, R. & Hernández, V. (2004). Riesgos a la salud por la presencia del aluminio en el agua potable. *Conciencia tecnológica*. Recuperado de: <https://bit.ly/2RMRgwX>.
- United Nations (2005). A Guide to The Globally Harmonized System of Classification and labeling of Chemicals (GHS). United Nations Publications. USA.
- United Nations. Economic Commission for Europe. Secretariat. (2009). Globally harmonized system of classification and labelling of chemicals (GHS). United Nations. New York, USA.

- Uttara, B., Singh, A. V., Zamboni, P., Mahajan, R. T. (2009). Oxidative Stress and Neurodegenerative Diseases: A Review of Upstream and Downstream Antioxidant Therapeutic Options. *Curr Neuropharmacol*, 7(1), 65-74. <https://doi.org/10.2174/157015909787602823>.
- Williams-Jones, G.; Rymer, H. (2015). Hazards of Volcanic Gases: *The Encyclopedia of Volcanoes*; Sigurdsson, H., Ed.; Academic Press: Amsterdam, 985-992. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385938-9.00057-2>.
- WISHA, Washington (State). WISHA Services Division. (2004). Comunicación sobre peligros químicos: Información útil para los empleadores. Dpto. of Labor and Industries, WISHA Services Division. USA.
- World Health Organization (WHO) (1996). pH in Drinking Water. (Access 21 of January, 2019). Available at: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/ph.pdf.
- Zalba, G., José, G. S., Moreno, M. U., Fortuño, M. A., Fortuño, A., Beaumont, F. J., Díez, J. (2001). Oxidative Stress in Arterial Hypertension: Role of NAD(P)H Oxidase. *HT*, 38 (6), 1395-1399. <https://doi.org/10.1161/hy1201.099611>.



Biografía de autores

Amanda Castillo Zeledón

Dra. Amanda Castillo Zeledón es licenciada en Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional. Posee una Maestría en Microbiología de la Universidad de Costa Rica. Es miembro activo del Programa de Investigación en Enfermedades Tropicales. Su interés científico circunda la respuesta inmunológica de la bacteria *Brucella abortus*. Profesora de Inmunología en la Escuela de Medicina Veterinaria de la UNA. Actualmente es estudiante de Ph.D. en la Universidad de Costa Rica.

Carlos Espinoza Marín

Es un biólogo y manejador de vida silvestre, pero sobre todo es un profesional “multi enfoque”. Inició su carrera profesional en 1998 trabajando como consultor para el INBio y el PRM-VS-UNA como especialista en murciélagos. Desde el 2002-2016 estuvo al frente de la Fundación Trichechus. De hecho, ha sido coordinador de 16 proyectos ejecutados por la Fundación en Nicaragua, Costa Rica y Panamá, por lo es un conocedor de la dinámica transfronteriza entre los tres países. Su enfoque investigativo ha estado orientado en las dimensiones humanas de la conservación y en la planificación estratégica para el empoderamiento de organizaciones locales. Ha recibido becas de estudios en países como Japón, España y Estados Unidos.

Carlos Jiménez Sánchez

El Dr. Jiménez Sánchez se graduó de Médico Veterinario en la Universidad Nacional en 1981 y obtuvo su Doctorado en Medicina Veterinaria (Dr. Med. Vet.) en la Universidad de Gies-sen, Alemania, en 1990. Ha establecido nexos de colaboración científica en el ámbito nacional e internacional y desarrollado proyectos académicos en temas relevantes de virología médica y veterinaria, desde la perspectiva de UNA SALUD, como rotavirus, norovirus, sapovirus, coronavirus, rabdovirus, retrovirus, arbovirus y reptarenavirus. Desde 1995 se desempeña como catedrático y coordinador del Laboratorio de Virología de la Escuela de Medicina Veterinaria y desde 2010 es el editor de la publicación *Ciencias Veterinarias*.

Carlos Morera Beita

Doctor en Planificación Ambiental de la Universidad de Barcelona, máster en Manejo de Recursos Naturales de la Universidad de Arizona y licenciado en Geografía de la UNA. Profesor catedrático en la Escuela de Ciencias Geográficas con una amplia experiencia, donde cuenta con más 50 artículos científicos y seis libros sobre la temática. Correo electrónico: cmorera@una.cr

Caterina Guzmán Verri

Caterina Guzmán Verri recibió su Ph.D. en la Universidad del Instituto Karolinska en Suecia. Se dedica a estudiar las razones por las cuales las bacterias del género *Brucella*, causan infección en humanos y animales. Su investigación se centra en el comprender cómo se transgreden estas barreras biológicas, particularmente cómo un microorganismo se puede adaptar a vivir en otro hospedero. Es la coordinadora del Laboratorio de Bioquímica e Inmunología de la Escuela de Medicina Veterinaria. Ha recibido varios premios, incluyendo el Premio Nacional de Ciencias Clodomiro Picado Twilight y es miembro de la Academia Nacional de la Ciencias, Costa Rica.

Christian Chaverri Ramos

Profesor II, Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEN), Universidad Nacional (UNA). B.Sc. en Física de la Universidad de Costa Rica. M.Sc. en Energías y Combustibles para el Futuro de la Universidad Autónoma de Madrid, España. Áreas de especialización: Ciencia de los Materiales, Energías Renovables, Materiales Fotovoltaicos. Coordinador de la Red UNA STEM (2020-2022) y de la Olimpiada Costarricense de Física (OLCOFI). Ponente y coautor de artículos en Ciencia de Materiales, STEM y Energías Renovables.

Elías Barquero-Calvo

Elías Barquero-Calvo recibió su Ph.D. en la Universidad de Costa Rica. Su principal interés es las infecciones bacterianas y las interacciones huésped-parásito de enfermedades de relevancia veterinaria y de salud pública. Su investigación se centra en los mecanismos detrás de la respuesta temprana de la inmunidad innata y el papel de los neutrófilos en la brucelosis y al análisis del perfil de resistencia a antibióticos de algunos patógenos bacterianos. Es el coordinador del Laboratorio de Bacteriología de la Escuela de Medicina Veterinaria. Ha recibido varios premios, incluyendo el Premio Nacional de Ciencias Clodomiro Picado Twilight, Costa Rica.

Esteban Picado Sandí

El Dr. Esteban Picado Sandí tiene formación en Física y filosofía de la Universidad de Costa Rica, Universidad Complutense de Madrid y de la Universidad de Santiago de Compostela. Cuenta con varias publicaciones científicas y ha participado en investigaciones avanzadas en física y aplicaciones nucleares en grandes laboratorios como CERN, ILL o LSC. Hace varios años labora como académico, investigador y coordinador de posgrado en el Departamento de Física de la Universidad Nacional. Actualmente es presidente de la Comisión de Energía Atómica de Costa Rica y es Decano de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional.

Felipe Araya Ramírez

El Dr. Felipe Araya Ramírez es profesor catedrático de la Escuela de Ciencias del Movimiento Humano y Calidad de Vida y fue coordinador del proyecto Centro de Rehabilitación Cardiovascular durante 11 años. Actualmente, es Decano de la Facultad de Ciencias de la Salud y miembro del Colegio Americano de Medicina del Deporte. El Dr. Araya tiene un doctorado en Kinesiología (Ph.D.) del Departamento de Kinesiología de "Auburn University" en Alabama, Estados Unidos. El Dr. Araya ha sido profesor e investigador por 23 años y ha escrito 47 publicaciones científicas que incluyen: 21 artículos, 2 capítulos de libros y 24 abstractos publicados.

Gerardo A. Araya Vargas

Académico de la Escuela de Ciencias del Movimiento Humano y Calidad de Vida, de la Facultad de ciencias de la Salud de la Universidad Nacional (UNA). También docente-investigador de la Escuela de Educación física y Deportes de la Facultad de Educación de la Universidad de Costa Rica (UCR). Desde 2000 ejerce la docencia en ambas unidades. Es Bachiller en educación física de la UNA, emáster en ciencias del movimiento humano de la UCR y Doctor en educación de la Universidad La Salle de Costa Rica. Se especializa en investigación en psicología del ejercicio y el deporte, investigación metaanalítica y estudios sobre actividad física y salud.



Giovanni Sáenz Arce

Profesor II, Universidad Nacional, Costa Rica (UNA), Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Bach. en Física de la Universidad de Costa Rica. M.Sc. Nanoscience and Molecular Nanotechnology de la Universidad de Alicante, España. Doctorado en Nanoscience and Nanotechnology con mención Europea de la Universidad de Alicante, España. Áreas de Especialización: Materia Condensada, Ciencia de Materiales, Biofísica, Nanociencia y nanotecnología molecular, Microscopía de Fuerza Atómica y Efecto Túnel y Coordinador General y Representante de la UNA del Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE impartido por el ITCR, UNA, UNED).

Grace Wong Reyes

Grace Wong Reyes, Ph.D. Obtuvo el Bachillerato y la Licenciatura en Ingeniería en Ciencias Forestales con énfasis en Manejo de Fauna Silvestre, el Máster en Manejo de Vida Silvestre de la Universidad Nacional de Costa Rica y el Ph.D. en Conservación de Vida Silvestre y Pesquería de la Universidad de Massachusetts, Estados Unidos de América. Ha laborado como académica en el Instituto Internacional en Conservación y Manejo de Vida Silvestre de la Universidad Nacional de Costa Rica y actualmente se desempeña como decana de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar, Universidad Nacional de Costa Rica. Las áreas de interés son: Ecología y conservación de mamíferos medianos y grandes, interacción entre fauna silvestre y ser humano, educación ambiental y conservación en áreas protegidas.

Henry Borbón Alpizar

Graduado de Biología Marina en 2001, Licenciado en Química Industrial en 2006. Estudios de postgrado en la Universidad de Puerto Rico, recinto Mayagüez donde obtiene la Maestría en Ciencias Químicas en el 2009, reconocida en la Universidad de Costa Rica en 2010. La investigación y las publicaciones se relacionan con la gestión ambiental, el riesgo químico, la química marina de organismos invertebrados, el aislamiento y la caracterización de metabolitos secundarios con potenciales aplicaciones biotecnológicas.

Ian Godfrey

Durante los últimos tres años, de 2019 a 2022, Ian Godfrey se ha centrado en dominar UAS (vehículos aéreos no tripulados) y los aspectos aeronáuticos requeridos para volar drones comerciales en los Estados Unidos. En 2020 la licencia Parte 107 se obtuvo e Ian comenzó a construir una flota de drones. Para el 2021, Ian escribió y publicó un artículo para la Conferencia Internacional UASG 2021 sobre UAS para el desarrollo sostenible. Después de presentar un cartel en la conferencia, Ian cambió el enfoque, ayudando a los estudiantes universitarios a obtener equipos científicos para sus publicaciones de tesis. En 2022, el

desarrollo de UAS ha mejorado con cargas útiles de sensores IR (FLIR Systems), espectrómetros en miniatura (AlliedScientificPro) y hardware de detección de gas (Soarability) que se puede utilizar para cuantificar penachos volcánicos sin poner en peligro a ningún investigador. En el 2022, Ian logró llevar el Sniffer4D al volcán Poás y tomar medidas de SO₂ que sirvieron para ayudar al SINAC y a los estudiantes de la Universidad Nacional. Se espera continuar este tipo de trabajos en los Volcanes Turrialba, Irazú, Tenorio y Rincón de la Vieja.

Joel C. Sáenz Méndez

Joel C. Sáenz es M.Sc. y especialista en manejo y conservación de vida silvestre. Es profesor de posgrado en el Instituto Internacional en Conservación y Manejo de Vida silvestre (ICOMVIS) de la Universidad Nacional desde hace 25 años; además, es profesor asociado de posgrado en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), en ambas casas de estudio aparte de impartir clases ha dirigido decenas de tesis de maestría. Ha realizado investigaciones sobre ecología y conservación de carnívoros mediados, de grandes depredadores y ungulados neotropicales. También ha conducido investigaciones sobre biodiversidad en áreas protegidas y paisajes fragmentada en Centroamérica y Suramérica. Tiene más de 90 publicaciones entre artículos científicos y libros en el campo del manejo y conservación de la biodiversidad. Ha sido Consultor científico de documentales sobre especies vida silvestre de Costa Rica para cadenas de televisión como National Geographic, Discovery Channel, BBC de Inglaterra, NHK de Japón. Coordina investigaciones sobre el impacto de las actividades humanas (carreteras y aprovechamiento forestal) sobre la vida silvestre. En la actualidad es el Director del ICOMVIS.



Johan W. Van Veen

Johan W. Van Veen estudió biología en la Universidad de Utrecht, Holanda, donde obtuvo su Doctorado en 1999. Ha laborado en el CINAT desde 1990 como experto en abejas tropicales, estudio temas tan diversos como la biología reproductiva de las abejas sin aguijón, el efecto de la variabilidad climática sobre

las floraciones melíferas y su impacto en la producción apícola y el manejo agr-ecológico de colmenas. Ha publicado capítulos en varios libros y más de ochenta artículos en revistas indexadas. Ha fortalecido la cooperación internacional del CINAT con investigadores y ONs en varios países centroamericanos, México, Cuba, Ecuador y Colombia.

Jorge Alfaro Montoya

El Dr. Jorge Alfaro Montoya obtuvo su Bachillerato y Licenciatura en Biología Marina, con énfasis en acuicultura, de la Universidad Nacional de Costa Rica. En 1990, obtuvo su grado de Maestría de la Universidad de Texas A&M. En 2001, obtuvo su Ph.D. en la Universidad de Wageningen, Holanda. El Dr. Alfaro-Montoya ha laborado como académico de la Escuela de Ciencias Biológicas, UNA, desde 1986. Sus contribuciones al avance de la maricultura se centran en comprender y mejorar la biotecnología reproductiva femenina y masculina de los camarones marinos de cultivo. La mayoría de las contribuciones las ha publicado en Revistas Científicas del Cuartil 1-2, principalmente en la *Revista Aquaculture* (ELSEVIER), que es considerada como la más importante en este campo del conocimiento. En 2019, recibió un reconocimiento de la World Aquaculture Society por sus aportes significativos a la acuicultura en Latinoamérica.

José Carlos Mora Barrantes

Costarricense, químico industrial de profesión. Formación Académica: Licenciatura en Química Industrial en énfasis en Química Ambiental (Universidad Nacional, Costa Rica) y grado de Maestría en Ciencias en Gestión y Estudios Ambientales (Universidad Nacional, Costa Rica). Académico e Investigador en la Universidad Nacional desde el 2006, ha desarrollado funciones como; Regente Químico Institucional (Responsable de la gestión de productos químicos a escala institucional), Responsable Ambiental de proyectos constructivos, Coordinador de cátedra de química general, miembro del comité científico de maestría, profesor titular en cursos de salud ocupacional y seguridad industrial y de gestión ambiental industrial, investigador del Laboratorio de Química de la Atmósfera con desarrollo y publicación de

investigaciones científicas relativas ; productos y residuos químicos, riesgo químico, impacto ambiental, contaminantes atmosféricos, emisiones gaseosas de volcanes e impacto en la salud. Participación en pasantías y seminarios internacionales. Publicación de artículos científicos y libros académicos.

José J. Saavedra Arias

Catedrático de la Universidad Nacional, Costa Rica (UNA), Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. B.Sc. en Física de la Universidad de Costa Rica y Ph.D. en Física Química de la Universidad de Puerto Rico. Áreas de Especialización: Ciencia de Materiales, Química Cuántica Computacional y almacenamiento de energía. Director del Departamento de Física y coordinador del LAMI. Ponente, autor y coautor de diversos artículos en Ciencia de Materiales, Enseñanza de la Física y Física de Estado Sólido. jsaavedr@una.ac.cr

José Mauricio Pereira Mora

Académico de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA). Ponente en congresos nacionales e internacionales en la rama de medicina veterinaria de pequeñas especies con autoría y coautoría en artículos y divulgaciones científicas. Responsable y participante en programas y proyectos académicos, de extensión, investigación y vinculación dentro del Hospital de Especies Menores y Silvestres de la Escuela de Medicina Veterinaria, UNA.



José Pablo Sibaja Brenes

Costarricense, nacido en San José, Costa Rica. Formación académica: Licdo en Química Industrial con profundización en Química Ambiental, de la UNA, emáster en Ciencias en Gestión y Estudios Ambientales, de la UNA. Académico de la Escuela de Química desde el 2008. Exsubdirector, exdirector de la Escuela de Química. He trabajado en el Laboratorio de Química de

la Atmósfera desde el 2005, realizando muestreos en chimenea y perimetrales, análisis de ácido sulfúrico, ácido nítrico, cloruro de hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, amoniaco, PTS, VO_s, entre otras. Se especializa en el área de Química Ambiental, específicamente en el área de química de la atmósfera. Con modelos de dispersión de contaminantes en aire y asesoría química por la exposición a sustancias químicas. Capacitaciones y mediciones ambientales. Cuenta con dos premios de la NASA por las misiones realizadas en Costa Rica y el premio del Químico del Año 2021, otorgado por el Colegio de Químicos de Costa Rica. Ha participado como autor y/o coautor en más de 30 artículos científicos publicados en revistas tales como: *Journal of Applied Chemistry, Waste Management and the Environment VI, Open Journal of Modern Hydrology, Uniciencia*.

Juan Manuel Estrada Umaña

Profesor Catedrático de la Escuela de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional, Costa Rica. Médico Veterinario graduado en la Universidad Nacional de Costa Rica. Máster en Ciencias, University of Wales del Reino Unido. Entrenamiento práctico en cirugía equina, Universidad de Cambridge, auspiciado por el gobierno británico. Coordinador de la Cátedra de Cirugía de Especies Mayores de la Escuela de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional, Costa Rica y Coordinador del Hospital de Equinos y Especies Mayores de la Escuela de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional, Costa Rica.

Karen Vega Benavides

Académica de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA). Ponente en congresos y simposios nacionales e internacionales en la rama de medicina y cirugía veterinaria de pequeñas especies y animales silvestres, con autoría y coautoría en artículos y divulgaciones científicas. Responsable y participante en programas y proyectos académicos, de extensión, investigación y vinculación dentro del Hospital de Especies Menores y Silvestres de la Escuela de Medicina Veterinaria, UNA.

Laura Porras Murillo

Bachiller en Biología Tropical, Licdaa en Manejo de Recursos Naturales y Máster en Conservación y Manejo de Vida Silvestre de la Universidad Nacional, Costa Rica. Doctora en Ecología con énfasis en Conservación de la Biodiversidad de El Colegio de la Frontera Sur, México. Labora como académica del Instituto Internacional en Conservación y Manejo de Vida Silvestre de la Universidad Nacional. Sus áreas de interés son: ecología, conservación y manejo de cocodrilos y caimanes, interacciones entre fauna silvestre y humanos en áreas protegidas, no protegidas y urbanas, fauna urbana.

Lilliana María Piedra Castro

Laboratorio de Recursos Naturales y Vida Silvestre, Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional, Costa Rica. <https://orcid.org/0000-0003-4878-1531>.

Investigadora inscrita a la Vicerrectoría de Investigación de la UNA, en temas de erosión costera y variabilidad climática en ecosistemas marinos costeros, ecosistemas urbanos y ecología y manejo de humedales. Ha participado en más de 45 cursos de actualización profesional y 14 en docencia universitaria, más de 48 congresos nacionales e internacionales como expositora. Cuenta con más de 40 publicaciones en revistas científicas, ha participado de la elaboración de planes de manejo, estudios de impacto ambiental y planes de gestión ambiental. Ha escrito dos libros y tres manuales relacionados con el manejo y la conservación de la vida silvestre y con buenas prácticas ambientales.



Lohendy Muñoz-Vargas

Lohendy Muñoz Vargas es médica veterinaria y realizó sus estudios de posgrado en Estados Unidos como becaria Fulbright Laspau y alcanzó su Maestría en Salud Pública, Especialidad en Salud Global, y Doctorado en Medicina Comparativa y Veterinaria en The Ohio State University. Es académica e investigadora en la Universidad Nacional de Costa Rica, en donde coordina el área de Salud Pública e Inocuidad Alimentaria. Sus investigaciones

están basadas en la epidemiología de enfermedades transmitidas por alimentos, en la interfaz humano-animal-ambiente de infecciones zoonóticas y el estudio de la resistencia antimicrobiana bajo el enfoque de Una Salud.

Luis Alejandro Sánchez Chaves

Obtuvo su posgrado en la Universidad de Utrecht, Holanda. En el Programa Tropical Bees and Beekeeping in Tropical Climates. Es coordinador del Programa de Ecología y Polinización y de la Maestría en Apicultura Tropical del CINAT-UNA, en donde además es docente. Ha coordinado cursos internacionales y ha participado como ponente en diversos países en ecología de la polinización, relación planta-abeja, flora melífera, conservación de abejas. Ha publicado libros, capítulos de libros, artículos científicos y material de divulgación.

Luis Diego Alfaro Alvarado

Doctor en Ecología de la Universidad Federal de Minas Gerais, máster en Conservación y Manejo de Vida Silvestre e Ingeniero en Ciencias Forestales con énfasis en manejo forestal, UNA. Actualmente es Coordinador del posgrado en Manejo y Conservación de Vida Silvestre y del Diplomado en Conservación y Manejo de Áreas Protegidas del ICOMVIS. Ha publicado varios artículos, instrumentos. Correo electrónico: luis.alfaro.alvarado@una.cr

Luis Fernando Sandoval Murillo

Máster en sistemas de Información Geográfica y teledetección, UNA-UCR, Licenciado y Bachiller en Ciencias Geográficas con énfasis en ordenamiento del territorio, UNA, Profesor de la Escuela de Ciencias Geográficas donde integra el Programa de Paisaje y territorio además de presentar diversas publicaciones en la temática (23). Correo electrónico: luis.sandoval.murillo@una.cr

Marco Antonio Ramírez Vargas

Laboratorio de Recursos Naturales y Vida Silvestre, Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional, Costa Rica. <https://orcid.org/0000-0001-8502-982X>.

Investigador asociado al Laboratorio de Recursos Naturales y Vida Silvestre. Docente en el Colegio Universitario de Cartago para la carrera de turismo y consultor ambiental independiente. Con experiencia en el manejo de recursos naturales, desarrollo sostenible, agenda 2030, evaluación de servicios ecosistémicos, modelación de sistemas socio-ecológicos; Con capacitación en diseño experimental y en técnicas estadísticas para el análisis de datos de ambientales. Cuenta con participación en congresos nacionales e internacionales y más de 10 cursos a nivel técnico y universitario, los cuales versan en torno a ecología y desarrollo sostenible.

María José Avellán Zumbado

Académica de la Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional, Costa Rica. Ingeniera en ciencias forestales de la Universidad Nacional, con una maestría en Manejo de recursos naturales y tecnologías de producción del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Especialista en agroforestería, producción agropecuaria-forestal integral y arboricultura.



María Martínez Cruz

De raíces Guanacastecas y Puntarenenses, María Martínez Cruz cursó estudios universitarios en el campo de la química en la Escuela de Química de la Universidad de Costa Rica, con especial énfasis en química analítica. Posteriormente siguió estudios en Ciencias de la Tierra con el Grupo de Petrología de la Universidad de Utrecht, y se enfocó en la investigación de la interacción roca-fluidos en sistemas magmáticos hidrotermales como el del volcán Poás. Actualmente, Martínez se dedica a la vigilancia e investigación geoquímica de las aguas y mineralogía de lagos y nacientes volcánicas con el fin de prever una potencial erupción y contribuir a la reducción del riesgo volcánico.

Marielos Alfaro Murillo

Es directora de la Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional, Costa Rica. Es ingeniera forestal con una maestría en economía de recursos naturales y otra en comercio internacional. Posee una importante trayectoria de más de cuatro décadas como docente e investigadora. Fue diputada de la República de Costa Rica y ha participado en múltiples juntas directivas. Además, ha sido consultora para agencias y proyectos internacionales de cooperación.

Mario Baldi Salas

Interesado en la dinámica de agentes infecciosos zoonóticos y sus reservorios naturales, el Dr. Baldi se graduó como médico veterinario de la Universidad Nacional, posterior a esto se dedicó a la práctica de medicina en animales silvestres, concreto su maestría en salud de animales silvestres en la Universidad de Londres en el Real Colegio de Veterinaria (Sociedad Zoológica de Londres) en Inglaterra y posteriormente realizó sus estudios de doctorado con énfasis en medicina de la conservación en la Universidad Veterinaria de Viena, Austria. Desde el año 2006 es profesor de área de vida silvestre en la Universidad Nacional y es miembro activo del Programa de Investigación en Enfermedades Tropicales (PIET).

Mauricio Jiménez Soto

Catedrático de la Escuela de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA) y coordinador del programa académico Hospital de Especies Menores y Silvestres. Máster en Ciencias (UNA). Ponente en congresos nacionales e internacionales en la rama de medicina veterinaria de pequeñas especies y animales silvestres con autoría y coautoría en artículos y divulgaciones científicas. Responsable en programas académicos, de extensión, investigación y vinculación dentro del Hospital de Especies Menores y Silvestres de la Escuela de Medicina Veterinaria, UNA.

Mónica Retamosa Izaguirre

Es Licdaa en Ciencias Biológicas, Universidad de la República, Uruguay; Máster en Conservación y Manejo de Vida Silvestre, Universidad Nacional, Costa Rica; y Ph.D. en Ciencias de Vida Silvestre, Purdue University, USA. Labora como académica del Instituto Internacional en Conservación y Manejo de Vida Silvestre y coordina el Laboratorio TELESIG de la Universidad Nacional. Sus áreas de interés son: Ecoacústica, Ecología del Paisaje, aplicaciones de las Tecnologías de Información Geográfica al monitoreo y gestión de la biodiversidad.

Nancy Zamora Cervantes

Académica de la Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional, Costa Rica. Ingeniera en ciencias forestales con maestría en gerencia del comercio internacional del CINPE-UNA. Especialista en las áreas de economía, comercialización, mercadeo de bienes y servicios, política y legislación forestal, silvicultura de bosques naturales, plantaciones forestales y certificación. Ha realizado importantes consultorías y trabajos tanto a nivel nacional como internacional.

Rafael A. Calderón

Rafael A. Calderón llevó a cabo estudios de Medicina Veterinaria en la Universidad Nacional, Costa Rica. Posteriormente, realizó su Maestría y Doctorado en la Universidad de Utrecht, Holanda. Desde su llegada al CINAT-UNA en 1997, como Profesor-Investigador en el campo de Patología Apícola, ha orientado sus proyectos de investigación al estudio de las enfermedades que afectan a las abejas. Los hallazgos de sus estudios se han publicado en revistas indexadas, libros y capítulos de libro. La información más relevante, la ha transferido a los apicultores. Además, les ha brindado apoyo en el análisis de abejas para el diagnóstico de enfermedades.

Rafael Vindas Bolaños

Profesor Catedrático de la Escuela de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional de Costa Rica. Médico Veterinario graduado en la Universidad Nacional, Costa Rica. Especialidad Profesional en Cirugía, Medicina y Reproducción de Equinos, UNA, Costa Rica. Ph.D. en Medicina Regenerativa de Cartílago y Hueso en Equinos, Universidad de Utrecht, Holanda. ExVicedecano y Decano de la Facultad de Ciencias de la Salud, UNA, Costa Rica y Coordinador del Proyecto Internacional de Medicina Regenerativa Traslacional, Escuela de Medicina Veterinaria, UNA, Costa Rica.

Roberto Estrada McDermott

Profesor II de la Escuela de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional. Médico Veterinario graduado en la Universidad Nacional de Costa Rica. Doctorado en Ortopedia Equina y Terapias Regenerativas de la Universidad de Berlín de Alemania. Posdoctorado en Ortopedia de Equino de la Universidad de Berlín de Alemania. Especialista certificado en Cirugía y Ortopedia Equina del Colegio Europeo de Cirujanos Veterinarios y Coordinador del Servicio de Enseñanza y Simulación Clínica, Universidad Nacional.

Rosa Alfaro Solís

Costarricense, nacida en Heredia, Costa Rica. Formación académica: Licdaa en Química Industrial con profundización en Química Ambiental, de la UNA, Maestría Profesional en Gestión y Estudios Ambientales, de la UNA. Académica de la Escuela de Química desde el 2010 y hasta la fecha, trabajé en el Laboratorio de Química de la Atmósfera durante 10 años (2005-2015) y realizó muestreos en chimenea y perimetrales, análisis de ácido sulfúrico, ácido nítrico, cloruro de hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, amoníaco, PTS, VOs, entre otras muestras tales como aceites, biodiesel, bunker. Se especializa en el área de Química Ambiental, específicamente en el área de química de la atmósfera. Desde el 2016 y hasta la fecha he coordinado la carrera de Química Industrial en la Sede Interuniversitaria de Alajuela. Ha participado como autora y/o coautora en artículos científicos publicados en revistas tales como: *Journal of Applied Chemistry*,

Waste Management and the Environment VI, Open Journal of Modern Hydrology, Uniciencia.

Sergio Andrés Molina-Murillo

Académico en la Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional, Costa Rica. Es ingeniero forestal con una maestría en mercadeo y comercio de productos forestales y un doctorado en economía de recursos naturales, ambos de la Universidad de Minnesota. Participa en múltiples redes y organizaciones nacionales e internacionales como investigador, consultor, presentador, asesor, y miembro de juntas. Autor de correspondencia: sergio.molina.murillo@una.ac.cr

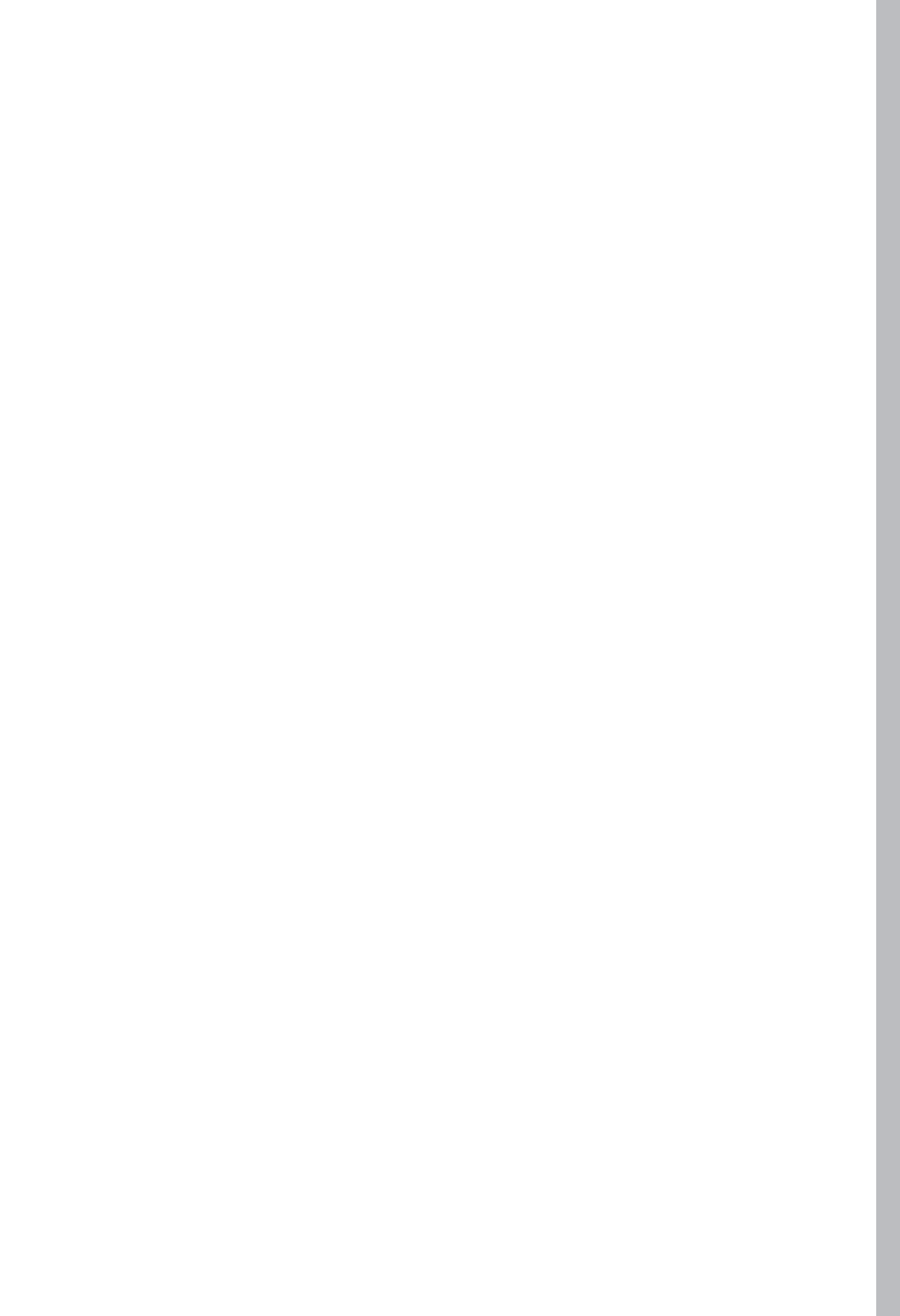
Svetlana Nikolaeva

Catedrática jubilada de la Universidad Nacional, Costa Rica (UNA), Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. M.Sc. en Ingeniería Petroquímica, Instituto de Petroquímica de Moscú. Áreas de Especialización: Tratamiento de aguas, Zeolitas, Difracción de Rayos X. Fundadora del LAMI y coordinadora de este durante varios periodos. Ponente, autora y coautora de diversos artículos. snikolaeva17@gmail.com



Víctor Montalvo Guadamuz

Académico del Instituto Internacional en Manejo y Conservación de Vida Silvestre, egresado de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional. Realizo una maestría en conservación y manejo de vida silvestre dentro de la misma institución, y posteriormente concluyó sus estudios doctorales en conservación ambiental con énfasis en manejo de vida silvestre y peces en la Universidad de Massachusetts Amherst. Actualmente ha enfocado sus investigaciones en las siguientes áreas; distribución, interacciones y respuestas de depredadores y presas en ambientes estacionales, procesos y patrones biológicos en poblaciones de carnívoros, efecto de la variabilidad climática en mamíferos y cambio global.



Este tomo se consideró oportuno para destacar los aportes que se han realizado en los ámbitos de Conservación Ambiental y Salud Pública.

En primera instancia, y como consecuencia del interés generado ante el deterioro ambiental, la sociedad contemporánea ha acuñado el concepto de Conservación Ambiental, entendido como la acción de la humanidad para cuidar, proteger y mantener todos los elementos de la naturaleza como la propia existencia de los seres humanos, la fauna, la flora, los ecosistemas, entre otros. Esta acción se realiza por medio de diferentes estrategias que buscan el mantenimiento, la restauración y la conservación de los recursos naturales, así como un uso racional de estos con el fin de generar un desarrollo sostenible.

Por su parte, la Salud Pública es la ciencia y el arte de prevención de la enfermedad, prolongar la vida y promover la salud a través de esfuerzos organizados y opciones informadas de la sociedad, organizaciones, comunidades públicas y privadas e individuales.

De esta forma, la presente obra compila catorce capítulos que registran la trayectoria de las actividades académicas en distintos ámbitos, pero que se pueden agrupar en dos secciones: en el ámbito de la Conservación Ambiental y en ámbito de la Salud Pública.

