



CIENCIA MÁS TECNOLOGÍA

3 de julio de 2024 - Año 9, n.º 99

Un estudio revela lo que hay detrás de la **mordedura** de las **tarántulas** de Costa Rica

Fotos: Carlos Viquez.
Diseño: Rafael Espinoza.



Uno de los resultados de la investigación fue la diversidad de proteínas de los arácnidos. Según Lomonte, con el paso del tiempo se dan cambios entre las generaciones de las arañas. Esto puede indicar que las toxinas de dichos animales se encuentran en un proceso de evolución, entonces las especies comienzan a divergir y sus venenos empiezan a tener características diferentes. Foto: Carlos Víquez.

Un nuevo paso en el estudio de las tarántulas: la detección de toxinas y bacterias en el veneno



Investigadores costarricenses realizaron un análisis único en el país sobre estos arácnidos.

*Fabrizio Rosales López
fabrizio.rosaleslopez@ucr.ac.cr*

En Costa Rica, existen alrededor de 40 especies de tarántulas (Theraphosidae), las cuales se distribuyen por todo el país y su tamaño varía, desde los 3 cm de longitud hasta las que superan los 20 cm. Usualmente, las personas les tienen bastante respeto y miedo por su mordedura, pero rara vez causan accidentes por una mordida.

Los ataques de tales arácnidos no suelen ser letales para los seres humanos, solo algunos requieren tratamiento médico. Sus mordeduras venenosas pueden matar a pequeños animales, lo que ha llevado a la creencia en algunos países de que

muchas heridas en animales de granja son causadas por estas tarántulas. Por eso, también se les conoce como “picacaballo”.

Recientemente, científicos de la Universidad de Costa Rica (UCR) y otras instituciones nacionales desarrollaron la investigación “Venomicrobioma de ocho especies de arañas neotropicales de la familia Theraphosidae”.

El estudio indagó sobre todo las toxinas y la presencia de bacterias patógenas en los venenos y excrementos de 16 individuos de arácnidos de ocho especies. Se trabajó con estos grupos biológicos en específico por su disponibilidad.

El proyecto nació originalmente gracias a una beca Conare-Cenat que otorga el Consejo Nacional de Rectores (Conare) en conjunto con el Centro Nacional de Alta Tecnología (Cenat). El investigador Carlos Víquez obtuvo la asistencia financiera para realizar su tesis sobre estas arañas.

Además de Víquez, seis expertos estuvieron involucrados en el estudio: Diego Rojas Gätjens, Esteve Mesén Porras, Roberto Avendaño, Mahmood Sasa Marín, Bruno Lomonte Vigliotti y Max Chavarría Vargas.

El Centro Nacional de Innovaciones Biotecnológicas (Cenibiot) se encargó de analizar los microorganismos, mientras que el Instituto Clodomiro Picado de la UCR estudió las toxinas de las muestras. Chavarría, investigador de la Escuela de Química, del Centro de Investigación en Productos Naturales (Ciprona) y del Cenibiot, explica la importancia de dicho análisis:

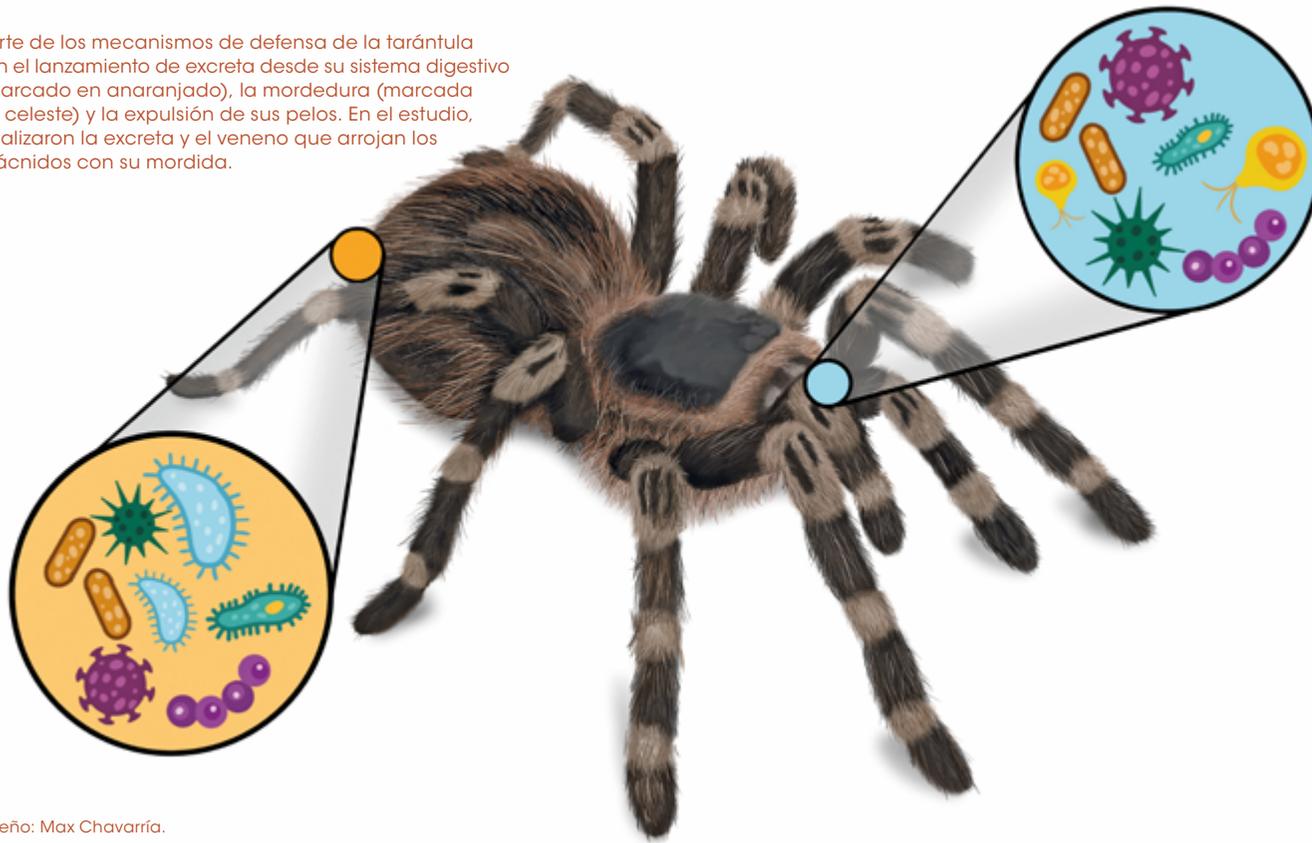
“Hay varios enfoques en este trabajo, el estudio de la composición de los venenos, por un lado, es importante desde el punto de vista clínico, ya que para un adecuado tratamiento debemos conocer los componentes que pueden ser transmitidos a la víctima mediante una mordedura. También

la venomicrobioma es relevante desde un punto de vista evolutivo, porque es interesante entender cómo se han adaptado los microorganismos a un ambiente tan hostil como el veneno”.

Los venenos contienen dos tipos de componentes, los bióticos (los que tienen vida, como los microorganismos) y los abióticos (los que no tienen vida, las toxinas). En Costa Rica, el Instituto Clodomiro Picado (ICP) ha estudiado por muchos años los elementos abióticos en animales venenosos (principalmente serpientes) y ha logrado grandes aportes para contrarrestar la actividad de las toxinas.

Con esta nueva investigación, se introducen los factores bióticos, es decir, los microorganismos presentes en el veneno que pueden transmitirse a la víctima. En este estudio, los expertos adoptaron un enfoque más integral que no solo abarca las toxinas, sino también las posibles

Parte de los mecanismos de defensa de la tarántula son el lanzamiento de excreta desde su sistema digestivo (marcado en anaranjado), la mordedura (marcada en celeste) y la expulsión de sus pelos. En el estudio, analizaron la excreta y el veneno que arrojan los arácnidos con su mordida.



Diseño: Max Chavarría.



En el Instituto Clodomiro Picado (ICP) utilizaron tres técnicas para analizar el veneno de las tarántulas: el perfil cromatográfico, la electroforesis y la identificación de proteínas, explica Bruno Lomonte, investigador del ICP y experto en el veneno de serpientes. Foto: Carlos Víquez.

bacterias que podrían ser transportadas junto con el veneno.

Las tarántulas son arañas con un comportamiento agresivo a la hora de defenderse, como parte de sus mecanismos de defensa están el lanzamiento de sus pelos y el depósito de sus excrementos en la víctima. Esta especie arácnida lanza su excreta desde su sistema digestivo, la cual se compone de una mezcla entre su orina y sus heces. Detalladamente, los investigadores analizaron la microbiota intestinal de las ocho especies y se reveló la presencia de bacterias potencialmente patógenas (microorganismos capaces de causar enfermedades en humanos).

Hallazgo de toxinas y microorganismos

Una parte de los resultados de la investigación determinó que las toxinas en las especies de tarántulas estudiadas son muy variadas. Sobre la identificación de venenos, Bruno Lomonte, investigador del Instituto Clodomiro Picado, menciona:

“Algunas son especies de un mismo género y otras de géneros completamente diferentes. Esto nos puede dar pistas sobre la posible especialización de cada una de las arañas dependiendo del lugar donde habitan, la región y las presas que ellas

pueden cazar. No esperábamos que todos los venenos fueran iguales”.

Además, a nivel de microorganismos, obtuvieron lo siguiente:

“Encontramos que hay una comunidad microbiana en el veneno que se transfiere a las personas mordidas por las tarántulas. Dimos con bacterias que son patógenas para los humanos, lo que eventualmente podría derivar en una infección”, comenta Chavarría.

Además, en la excreta y venenos se detectaron bacterias patógenas con actividad hemolítica, lo que podría favorecer una infección en una herida abierta.

El estudio que realizaron los expertos demostró la presencia de bacterias en

el veneno de las tarántulas, potencialmente patógenas, de los siguientes géneros: *Stenotrophomonas*, *Serratia*, *Bacillus*, *Acinetobacter*, *Microbacterium* y *Morganella*, entre otros.

Por otra parte, en el análisis intestinal se identificó la presencia de las siguientes bacterias patógenas: *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Comamonas*, *Morganella*, *Stenotrophomonas* y *Staphylococcus*.

Los hallazgos del estudio indicaron que bacterias del género *Pseudomonas* estaban notablemente presentes en los excrementos analizados. Según los expertos, este grupo taxonómico es extremadamente diverso y se encuentra en una amplia gama de hábitats, incluidos suelos, aguas, animales, seres humanos y entornos contaminados con metales e hidrocarburos.

Debido a su notable capacidad para adaptarse, a los investigadores no les sorprendió encontrar *Pseudomonas* en la microbiota intestinal de las tarántulas. Sin embargo, aún queda por comprender completamente las funciones que desempeña este taxón y su vínculo con el hospedador.

Stenotrophomonas

Esta bacteria patógena se encontró tanto en el veneno como en el excremento de las tarántulas. A los científicos les llamó la atención el descubrimiento de tal microorganismo porque parece ser un miembro recurrente en animales venenosos de todo el mundo, como arañas, en los conductos venenosos de caracoles, en las cavidades bucales de serpientes y dragones de Komodo.

Sobre las *Stenotrophomonas*, Víquez y Chavarría escribieron lo siguiente en un artículo internacional:

“Esta bacteria se considera un patógeno con una creciente resistencia a los fármacos y elevadas tasas de mortalidad, que requerirá mucha más atención por parte de la comunidad científica en los próximos años. La elevada diversidad genética y fenotípica que muestran los miembros de este género subraya la necesidad de estudiarlo en profundidad. En el contexto de su presencia en los venenos de animales como arañas o serpientes, es importante no solo entender sus mecanismos de adaptación, sino también sus capacidades virulentas, que pueden causar infecciones en humanos tras mordeduras o picaduras”.

La *Stenotrophomonas* causa principalmente infecciones en las vías respiratorias, también se ha documentado su implicación en infecciones de la piel y tejidos blandos, infecciones del tracto urinario, infecciones oculares y otras afecciones.

El futuro de la investigación

El estudio realizado por estos científicos es el primero en el país. Actualmente, trabajan en un proyecto similar, pero en serpientes, ya que las mordeduras de este animal son consideradas un problema para la salud pública y se sabe que generan infecciones en el 77 % de los casos. Los expertos investigan el venomicrobioma de la serpiente terciopelo con la esperanza de aportar un mayor conocimiento de los componentes transferidos a las víctimas y que esta información pueda utilizarse en el tratamiento de las mordeduras de dicho reptil. ■



Este proyecto fue el primero asociado a la enfermedad de Parkinson y con el modelo 6-OHDA en aprobarse. A partir de esto, surgieron más propuestas de estudio sobre dicha patología y que en este momento se llevan a cabo. Foto: Natalia Vargas Salas.

Un estudio del Centro de Investigación en Neurociencias analiza las diferencias de género en las etapas moderadas de la enfermedad de Parkinson

Dos profesores y una estudiante de la Universidad de Costa Rica (UCR) tienen como prioridad aportar evidencia científica sobre tal patología.

Fabrizio Rosales López
fabrizio.rosaleslopez@ucr.ac.cr

La enfermedad de Parkinson es la segunda más prevalente e incidente en los adultos mayores a nivel mundial. Se estima que entre cuatro y cinco millones de personas mayores de 50 años en todo el planeta la padecen.

El Dr. Jaime Fornaguera Trías, investigador del Centro de Investigación en Neurociencias (CIN) de la UCR, menciona que cuando se diagnostica a una persona con esta patología es porque, clínicamente, un sistema neuronal en el cerebro está afectado en un 80 %. Por eso, ningún tratamiento hasta ahora ha sido efectivo para su cura.

Además, a pesar de ser un padecimiento tan frecuente en esta población, no hay suficientes investigaciones que aborden las diferencias entre los hombres y las mujeres que sufren la enfermedad.

Por este motivo, el Dr. Fornaguera desarrolla un estudio para determinar si hay diferencias de sexo en las *Rattus norvegicus* con lesión dopaminérgica moderada (un grado intermedio de daño neuronal sin destrucción completa de las neuronas dopaminérgicas), la cual se genera por la 6-hidroxidopamina como modelo preclínico para la enfermedad de Parkinson. Este trabajo lo lleva a cabo junto con la M. Sc. Raquel de Souza Lima, investigadora del CIN, y Sofía Ramírez Ríos, asistente y alumna de Farmacia en la UCR.

El análisis comenzó de manera oficial en junio del 2020 y fue el primer proyecto que se les aprobó a los investigadores relacionado con la enfermedad de Parkinson con el modelo de 6-hidroxidopamina, el cual se utiliza para simular el padecimiento en sus estudios.

El propósito del trabajo es investigar, por medio de ratas macho y hembra, los comportamientos que desarrollan estos roedores ante las lesiones moderadas que provoca dicha patología.

“Lo que nosotros estamos tratando es observar si, a través del modelo, podemos entender qué está pasando a nivel bioquímico y comportamental en estos animales que tienen lesiones moderadas y ver si podemos utilizar los mismos modelos para detectar en humanos antes la enfermedad. Al identificar antes, hay una mayor probabilidad de mejorar el tratamiento”, explica el investigador.

Los expertos recalcan que no están en busca de elaborar un medicamento, el objetivo es aportar evidencia a aquellas personas o industrias que puedan desarrollar un fármaco o terapia en particular.

“Esta enfermedad se estudia desde hace muchos años, nosotros no sabemos cuál es la causa del Parkinson. Conocemos que, cuando sucede por temas genéticos, esto representa solamente un 10 % de

los casos, mientras que el otro 90 % son esporádicos, es decir, la causa es una incógnita. Este tipo de investigación que nosotros hacemos es fundamental para dar las herramientas necesarias, ya que se debe entender lo que sucede a nivel fisiológico o patológico”, detalla De Souza.

Primeros análisis

Después de varios años enfocándose en la investigación, el próximo paso es analizar los resultados del proyecto y, próximamente, publicar el primer artículo con las respectivas conclusiones del estudio.

Una de las primeras diferencias que pudieron observar los expertos fue a la hora de visualizar los índices de incidencia y prevalencia, así como al considerar la variabilidad que hay en las poblaciones. En este punto, percibieron que existe un patrón en el que el sexo afecta directamente en el desarrollo de la enfermedad. También hay diferencias a nivel de los



La región específica del cerebro en la que trabajaron los investigadores fue el mesencéfalo ventral, una zona que contiene un neurotransmisor llamado dopamina, el cual está relacionado con la regulación motora. Foto: Natalia Vargas Salas.

Los investigadores desarrollan el estudio en diferentes laboratorios del Centro de Investigación en Neurociencias (CIN) y trabajan en conjunto en el análisis de los resultados. En la imagen: Raquel de Souza Lima (izq.), Sofía Ramírez Ríos (centro) y Jaime Fornaguera Trías (der.). Foto: Natalia Vargas Salas.

síntomas no motores, por ejemplo, las mujeres suelen tener más temblores y los hombres padecen problemas como la rigidez postural.

“Nos interesa, particularmente, analizar las diferencias sexuales que suelen existir en esta enfermedad, estudiamos machos y hembras con diferentes grados de lesión y esto lo utilizamos para emular diferentes estadios de la enfermedad”, comenta la investigadora.

Parte de las diferencias sexuales que han mostrado los resultados preliminares tienen que ver con que las hembras suelen contrarrestar más que los machos. En este caso, aunque tengan el mismo grado de lesión visualmente (desde una perspectiva fenotípica comportamental), las hembras no parecen sufrir tantas lesiones como los machos. De Souza confirmó que, a grandes rasgos, sí hay diferencias sexuales en el Parkinson.

A la vez, Fornaguera cuestionó los tratamientos de la enfermedad que se les brindan a hombres y mujeres:

“Si las mujeres y hombres son diferentes, ¿por qué hemos tratado durante toda la vida con el mismo fármaco para tratar el Parkinson? Esa es otra de las preguntas que nos surgen a nosotros y es raro. Si son diferentes, ¿por qué usamos lo mismo? Tal vez deberíamos conocer mejor las diferencias para buscar mejores soluciones terapéuticas en ambos sexos porque a veces generalizamos y los estudios se han realizado principalmente en machos (en cuanto a modelo de animales),

lo cual es un error porque al final le recetamos a hombres y mujeres lo que hemos obtenido con resultados de machos”.

6-OHDA

Aunque el modelo neurodegenerativo inducido por la 6-OHDA no imita todos los síntomas de la enfermedad, sí simula procesos celulares como el estrés oxidativo, la neurodegeneración, la neuroinflamación y la muerte neuronal por apoptosis (gradualmente).

El grupo de trabajo inyectó la 6-hidroxidopamina en la sustancia *nigra pars compacta* (una parte ubicada en el mesencéfalo del cerebro). Al introducir el componente, este hace que se mueran todas las neuronas.

“Nuestro objetivo es causar una lesión en las neuronas dopaminérgicas en esta área específica del cerebro, simulando lo mismo que tendría un paciente con Parkinson y así estudiar muchas conductas motoras y sus cambios fisiológicos”, explica Ramírez.

El Parkinson sucede por no haber suficiente dopamina. Por tal razón, las células que controlan el movimiento no pueden enviar un correcto mensaje a los músculos y eso provoca temblor, bradikinesia y akinesia. Con este modelo, los expertos engañan a las células con la presencia de la dopamina y eso produce varias reacciones que las destruyen y, por ende, aparece la sintomatología de la enfermedad.

La historia detrás del proyecto

Cuando Fornaguera realizó su proyecto de doctorado, trató este modelo, pero sus responsabilidades no le permitieron avanzar con la investigación. Por su parte, De Souza llegó a Costa Rica luego de haber trabajado en Brasil con enfermedades neurodegenerativas. Por eso, ambos comenzaron un nuevo estudio, esta vez desde la biología molecular, neuroquímica, genética y comportamiento.

“Raquel ya se había desempeñado en estas áreas en Brasil, por lo que fue mucho más fácil incorporarla. Ella aprendió a trabajar con animales y yo sobre biología molecular. Después, a Sofía la incluimos en el proyecto siendo estudiante y así nace una idea que teníamos desde hace años y que nos pareció que valía la pena seguirle la pista”, menciona Fornaguera.

Una oportunidad única en Estados Unidos

Del 17 al 21 de marzo, Ramírez expuso sobre la investigación en ACS Spring 2024, un evento organizado por la American Chemical Society (ACS) en Nueva Orleans, Estados Unidos.

Este congreso internacional reúne a químicos, así como a expertos de ciencias

afines, de todo el mundo para presentar sus proyectos y desarrollar relaciones entre doctores, profesionales y estudiantes. Ramírez formó parte de este evento gracias al Student Chapter de la UCR, un capítulo estudiantil que pertenece a la ACS.

La asistente de la investigación expuso en el área de la química medicinal y destacó la importancia de la interdisciplinariedad en estos estudios:

“Cualquier especialidad es necesaria en este momento para investigar, que nuestro proyecto fuera interdisciplinario les interesó a otras personas para que en un futuro se puedan hacer investigaciones en conjunto. Raquel y Jaime me han inspirado mucho y he aprendido bastante de la mano de ellos, siempre enfatizan en que juntos con las diferentes fortalezas y debilidades podemos salir adelante con una investigación”.

Por último, debido a la importancia de aprender de expertos en la materia, Ramírez les insiste a otros estudiantes para que formen parte del área de la investigación y participen en los proyectos que se llevan a cabo en la Universidad.

La idea es que, en un futuro, las industrias médica y farmacéutica puedan colaborar con los investigadores gracias a la información que surja de este proyecto. ■



La Unidad de Ingeniería Marítima de Ríos y Estuarios (Imares), del Instituto de Investigaciones en Ingeniería, y el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Lanamme) han realizado estudios e informes sobre la problemática que se vive en la Ruta 23 y sobre cuáles podrían ser las soluciones más efectivas. Foto: Laura Rodríguez.

La UCR efectuó importantes aportes desde el campo de la ingeniería

La carretera a Caldera requiere una intervención integral

El equipo experto recomienda reducir el impacto de la erosión costera por medio del uso de espigones en el mar, así como fortalecer los sistemas de información y señalización vial

Tatiana Carmona Rizo
jessica.carmonarizo@ucr.ac.cr

La Ruta Nacional Primaria 23, conocida popularmente como carretera Barranca-Caldera, es una vía nacional de alta conectividad, ya que sobre ella transitan entre un millón y dos millones de vehículos cada mes, según los datos reportados por

la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (Aresep).

Además de este alto flujo vehicular, la carretera 23 es una de las pocas rutas que conecta a la Gran Área Metropolitana (GAM) con la costa Pacífica para efectos de comercio, industria, transporte y turismo.

Sin embargo, a pesar de la importancia que representa dicha vía para el país, en los últimos años su infraestructura ha sufrido un desgaste considerable por causa del oleaje, las mareas altas y la pérdida de sedimentos de la playa; además, no se ha implementado una solución integral que permita mitigar la problemática.

Este panorama ha sido analizado por diferentes laboratorios y unidades de investigación de la Facultad de Ingeniería de la

Universidad de Costa Rica, los cuales han estudiado y planteado distintas alternativas viables para solucionar la problemática.

Por ejemplo, desde el 2013, la Unidad de Ingeniería Marítima de Ríos y Estuarios (Imares) —anteriormente llamada Laboratorio de Ingeniería Marítima y Fluvial (LIMF)— determinó, por medio del estudio “Dinámica litoral y propuestas de actuación para la estabilización de playa Caldera”, que la problemática de erosión que sufría la playa ubicada en las cercanías de Caldera se debe a una pérdida de sedimento que se da desde la construcción del puerto. Esto, a su vez, ha provocado que la playa retroceda y que el fuerte oleaje, junto con mareas extraordinarias, dañe la infraestructura de la carretera.

Desde el 2017, al igual que Imares, el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Lanamme) realiza diferentes investigaciones e informes de evaluación del impacto de la erosión costera en esta ruta nacional. En su último análisis de agosto del 2023, se señaló el riesgo potencial de pérdida de conectividad de la vía en zonas definidas como de susceptibilidad muy alta.

Dicho documento puntualizó que estas zonas de alta susceptibilidad se encuentran en el sector de playa Nueva (al oeste del puerto de Caldera), en la playa que está al sur del puente del estero de Mata de Limón, en playa Caldera norte (alejándose de la línea de costa) y en los acantilados de Roca Carballo. Entre los



Espigones

Longitud aproximada 150 metros

Como se observa en la imagen, las recomendaciones técnicas de la UCR se inclinan por construir espigones en el mar para reducir la erosión costera, así como realizar un aporte de arena.

Foto, sin fines de lucro: Google Earth.
 Texto: Tatiana Carmona.
 Diseño: Rafael Espinoza.

puntos identificados dentro del parámetro con muy alta susceptibilidad están el Pk 9+500 y 10+500, donde actualmente se están dando los problemas de erosión en el enrocado que protege este camino.

Sin embargo, más allá de solo evidenciar la situación, ambas instancias de la UCR han planteado alternativas técnicas que, a mediano y largo plazo, funcionen para resguardar la vida de los usuarios que transitan esta vía, así como para prolongar la vida útil de la carretera.

¿Cuáles son las principales amenazas en la Ruta 23?

Según el Informe del 2013 de Imares, la construcción de la Ruta 23 se realizó encima de la duna de playa Caldera, razón por la cual las principales amenazas que sufre la infraestructura vial son la inestabilidad de la playa —producto de los dragados de mantenimiento que se efectúan desde la construcción del puerto

(1981)— y el rebase —como resultado de la combinación entre oleajes de fuerte energía y mareas extraordinarias—.

Como parte del estudio, Imares propuso ante el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) seis alternativas viables, según la ingeniería de costas, para remediar la situación. Entre ellas se eligió —desde el punto de vista técnico y un análisis multicriterio— la propuesta de colocar dos espigones para encerrar el sector de playa en donde hay más afectaciones a la carretera (con una distancia de 250 metros entre sí).

Dicha opción también incluye la posibilidad de hacer un aporte de arena de 85 000 metros cúbicos con el fin de hacer avanzar la playa aproximadamente 30 m, así como instalar otros dos espigones más —uno en cada extremo de la playa— para atrapar la arena que eventualmente se escape del sistema debido a las corrientes producidas por el rompimiento del oleaje.

“El espigón del extremo sur también tiene como propósito retener el ingreso de la arena en la dársena del puerto. El espigón del extremo norte podría dar soporte a la playa y se diseñó con una

longitud corta, de forma que parte de los sedimentos puedan seguir su camino natural hacia playas del Norte, como la playa de Doña Ana y Puntarenas”, explica Georges Govaere Vicarioli, uno de los investigadores principales de este estudio.

En su criterio, tal alternativa contribuiría a disminuir el impacto de la erosión costera sobre la ruta.

“El rompeolas del puerto hace que la arena se retenga y que esa cantidad de arena no siga su curso normal hacia playa Caldera. Ese es precisamente el problema, que toda esa arena se draga y se envía a otro sector del Pacífico, entonces al no sustituir ese sedimento eso provoca erosión costera y que haya rebase cerca del punto donde se ubica la carretera, porque la playa ha ido retrocediendo poco a poco. Por eso, tras estudiar los patrones de corriente y de oleaje, determinamos que la mejor solución es reestablecer ese sector de la playa, básicamente confinando arena con un par de espigones, es decir, que se haga una misma playa que protege”, expresa el experto.

Según Imares, se calculó en el 2013 que la implementación de esta propuesta

ascendía a los 15 millones de dólares. Desde la perspectiva de Govaere, aunque suene costoso, esta alternativa permitiría detener la erosión costera, específicamente en el sector en donde se ubica la carretera, sin necesidad de seguir invirtiendo en soluciones de corto plazo.

“No es que el enrocado que colocaron cerca de la carretera esté mal, pero es una medida correctiva y de corto plazo. La base donde se puso este enrocado es arena, entonces, si no frenamos la erosión costera en este sector, lo que va a pasar es que la base de sedimento del enrocado se va a lavar y el enrocado se va a ir hundiendo poco a poco. Sería más costoso seguir colocando rocas y rocas encima para prevenir el impacto del oleaje sobre la carretera, además de que la energía de ese impacto entre las olas y el enrocado también contribuye con el proceso de erosión”, agregó Govaere.

Además, opinó que, gracias al avance en las investigaciones, así como al uso de nuevas tecnologías, si hoy el Estado

Continúa en la página 6



Las soluciones de la UCR para mejorar la Ruta 23 resaltan la necesidad de construir espigones en el mar para disminuir la energía del oleaje y reducir la erosión costera. Igualmente, señalan la importancia de contar con sistemas de monitoreo y datos sobre las condiciones del mar, además de una adecuada señalización vial de la carretera. Foto: Laura Rodríguez.

decidiera implementar esta propuesta, la Universidad de Costa Rica podría hacer los ajustes y mejoras técnicas necesarias para que esta alternativa se adapte a las condiciones actuales en las que se encuentra la playa.

“Debemos estar preparados, ya que los fenómenos climáticos como La Niña y El Niño nos afectan mucho y nos hacen más vulnerables a que la carretera pueda colapsar en algún momento, sin poder determinar si eso es pronto o en algunos años, y más aún cuando contamos con este tipo de estudios e información para tomar decisiones”, afirma el experto.

Los aspectos fundamentales para los usuarios

Por su parte, el Lanamme, en su último estudio de evaluación y seguimiento a la Ruta 23, respaldó la alternativa técnica planteada por Imares de colocar espigones para reducir los efectos de la erosión costera en la carretera. Asimismo, agregó

que esta alternativa debe complementarse con sistemas de monitoreo y alerta temprana sobre el oleaje y las mareas, así como con una adecuada señalización vial de la ruta.

Desde la perspectiva técnica de este laboratorio, las obras del enrocado que se realizaron en el sector de Caldera son un mecanismo “momentáneo” de protección de la ruta ante las condiciones actuales de oleaje y mareas altas que se puedan dar. Por lo que, al igual que Imares, abogan por una intervención integral que logre disminuir la exposición de la vía.

“Hay tramos de la Ruta 23 que tienen una susceptibilidad muy alta y representan un riesgo potencial alto para la pérdida de conectividad, según la metodología empleada. Especialmente, cerca de la desembocadura del río Barranca y en el sector donde se ubica la escollera”, indica el Informe EIC-Lanamme-INF-1224-2023.

El Ing. Roy Barrantes Jiménez del Lanamme agregó que, desde el punto de vista de la vulnerabilidad y tomando en cuenta que la ruta es muy importante para el país, el Laboratorio también ha señalado la posibilidad de “modificar el trazado en algunos puntos específicos de la carretera

donde hay mayor vulnerabilidad”. Sin embargo, explicó que son conscientes de la complejidad que tiene esta alternativa, debido al desarrollo urbano, comercial e industrial que se ha dado alrededor de la vía. Por eso, desde su perspectiva, el planteamiento de Imares sigue siendo el más viable para, a largo plazo, disminuir la vulnerabilidad y exposición de la carretera.

En cuanto a los sistemas de monitoreo e información, el estudio de dicho laboratorio hace referencia a los sistemas de pronósticos locales de oleaje y viento desarrollados por la UCR, a través del Módulo de Información Oceanográfica (MIO) del Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (Cimar), así como a un sistema de pronóstico de oleaje local del MOPT e Imares. Ambos están acompañados de un sistema de cuatro niveles de precaución (celeste, verde, amarillo y rojo), en el que el rojo es el escenario más severo. Según su análisis, estos servicios son un gran aporte para la población y las autoridades.

En materia de seguridad vial, se destacó la importancia de reforzar el señalamiento vertical. Para ello, se recomendó coordinar los esfuerzos con la Dirección General de

Ingeniería de Tránsito (DGIT). Esto con el fin de proponer las señales verticales más adecuadas para ese tipo de peligros, así como complementar con señales de reglamentación e indicar que la regulación aplica para ciertas condiciones, en este caso, ante las fuertes lluvias y el alto oleaje. A lo anterior se suma la necesidad de control de tránsito en los momentos críticos de oleaje.

“Para nosotros, es fundamental que, mientras llega una solución definitiva para la ruta, se puedan ir haciendo estas otras acciones de señalización vial y de sistemas de monitoreo e información del oleaje para garantizar la seguridad de los usuarios”, expresó Barrantes.

Por último, en cuanto al análisis de la superficie del pavimento, el estudio demostró que la ruta no presenta deterioros estructurales severos, pero sí posee deformaciones plásticas en puntos muy específicos asociados a una incipiente pérdida de material en las capas de base, producto de la erosión por efecto del agua superficial (lluvia u oleajes fuertes) y el paso de vehículos pesados. ■