



HISTORIAS DE CIENCIA, ARRAIGO Y EXCELENCIA



HISTORIAS DE CIENCIA, ARRAIGO Y EXCELENCIA

CRÉDITOS

Coordinación editorial
Stephannie Lozano Murillo
Roberto Ulises Cruz Aguirre

Producción editorial

Departamento de Comunicación

Roberto Ulises Cruz Aguirre, Jazmín Giselle Félix García,
Norma Herrera Hernández, Paola Nohemi López Podesta,
Stephannie Lozano Murillo, Adrián Macías Díaz,
Karla Vanessa Navarro Lugo, Gustavo Peinemann Le Duc,
Alondra Preciado Mendoza, Victoria María Serna Zepeda.

Diseño

Iken - Estudio de diseño gráfico

Yukiko Nishikawa Aceves
Marissa Guzmán Reyna

Fotografía

A. Arvizu, E. Botello, S. Camacho, E. Carpio, E. Carrillo, S. Castañeda,
U. Cruz, J. de la Cerda, M. del Río, L. Delgado, J. Favela, J. Fletcher,
D. Loera, M. Hernández, N. Herrera, S. Herzka, E. López, S. Lozano,
A. Macías, G. Martínez, E. Medina, O. Meillón, E. Morán, R. Negrete,
V. Serna, B. Pacheco, E. Pacheco, E. Pallàs, M. Pardo, P. Pérez, R. Rangel,
J. Romo, I. Rosas, C. Sánchez, O. Santana, A. Vidal, S. Villarreal.

Archivo CICESE, departamentos de Computación,
Embarcaciones Oceanográficas y Microbiología, laboratorios de
Comunicaciones Fotónicas y Servant, y Red Sismológica del CICESE.
Grupo Radius, Grupo Canek, Revista Ciencia y Humanidades
del Conahcyt y Schmidt Ocean Institute.

Impresión

Imprecolor del Noroeste

DIRECTORIO

David H. Covarrubias Rosales
Director General

Rosa Reyna Mouriño Pérez
Directora de Biología Experimental y Aplicada

Mario González Escobar
Director de Ciencias de la Tierra

Eugenio Rafael Méndez Méndez
Director de Física Aplicada

Carmen Guadalupe Paniagua Chávez
Directora de Oceanología

Ana Denise Re Araujo
Directora de Estudios de Posgrado

Alexei Fedorovich Licea Navarro
Director de Impulso a la Innovación y el Desarrollo

Raúl Rivera Rodríguez
Director de Telemática

Saúl Moisés López Medina
Director Administrativo

Argelia Elena Enríquez Silva
Coordinadora de Apoyo Institucional y Seguimiento

Stephannie Lozano Murillo
Coordinadora del Departamento de Comunicación



“Historias de ciencia, arraigo y excelencia”

© Copyright 2023, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE).

Todos los derechos reservados.

Carretera Ensenada – Tijuana No. 3918, Zona Playitas. Ensenada, Baja California, México.

ISBN 978-607-8811-23-6

CONTENIDO

Presentación

La grandeza del CICESE

David H. Covarrubias Rosales

Mensaje de la gobernadora del estado de Baja California

Marina del Pilar Ávila Olmeda

CAPÍTULO Origen, desarrollo y prospectiva

1

Origen y crecimiento

El origen del CICESE

·La efervescencia de la ciencia

Roberto Ulises Cruz Aguirre

Nuestro campus

Roberto Ulises Cruz Aguirre, Adrián Macías Díaz,

Victoria Serna Zepeda

Los procesos de la investigación

Un vistazo a la investigación

Norma Herrera

Crecimiento y consolidación de los grupos académicos en el CICESE

Roberto Ulises Cruz Aguirre, Paola López Podesta

Ciencias del mar

De las costas a los mares mexicanos: 50 años de travesía oceanográfica

·Mujeres a bordo

Karla Navarro Lugo

Estudios del clima

Stephannie Lozano Murillo

Tras la huella del gran tiburón blanco

·Una hielera grande y olorosa

Jazmín Félix García

Ciencias físicas

Consolidación de las ciencias físicas en el CICESE: los años noventa

Roberto Ulises Cruz Aguirre

El cómputo ubicuo aplicado a la salud

Jesús Favela Vara, Ana Isabel Martínez García,

Mónica Elizabeth Tentori Espinosa

Geociencias

Tomando el pulso de los fenómenos naturales inevitables: los sismos

Norma Herrera Hernández

Estudios de riesgo geológico en el NW de Baja California: una breve historia

Luis Alberto Delgado Argote

12

16

26

32

35

42

44

47

51

54

60

Grupo Sismología Aplicada a la Ingeniería: evolución y futuro <i>Luis Humberto Mendoza Garcilazo</i>	62
La exploración geotérmica en el CICESE <i>José Manuel Romo Jones</i>	64
Flujos de calor: exploración del mar profundo <i>Raquel Negrete Aranda</i>	68

Cómputo científico

Jazmín Félix García

Cómo se desarrolló el cómputo científico en el CICESE	72
Supercómputo y cómputo de alto desempeño · La inundación de 1978	75

Estudios en biología

Conservación: el papel del CICESE en los Planes de Manejo de Áreas Naturales Protegidas · El aviario para el cóndor de California <i>Jazmín Félix García</i>	77
El surgimiento de las ciencias ómicas y la bioinformática en el CICESE <i>Miguel Ángel del Río, Fabiola Lafarga de la Cruz</i>	81
Contribuciones al estudio de <i>Neurospora crassa</i> · Los primeros años del Departamento de Microbiología <i>Jazmín Félix García</i>	84

Ciencia de frontera

Pedro Ripa: aportaciones y trascendencia <i>Francisco Javier Berón-Vera, Emilio Beier</i>	86
Diseño computacional de proteínas <i>Jazmín Félix García</i>	87
Lo escalofriante de la luz, desde la óptica cuántica <i>Stephannie Lozano Murillo</i>	89
¿Predicción de sismos? La hipótesis Keystone <i>Stephannie Lozano Murillo</i>	91
Visión por computadora evolutiva: el propósito en la vida como metáfora para la solución de problemas <i>Stephannie Lozano Murillo, Gustavo Olague Caballero</i>	93
Son bacterias, y no el fitoplancton, las que captan la mayor parte de la luz solar en los océanos <i>Roberto Ulises Cruz Aguirre</i>	95

CAPÍTULO 2 Aportaciones a la sociedad

2

Desarrollo tecnológico

Detección de sismos a distancia <i>Roberto Ulises Cruz Aguirre</i>	100
Comunicaciones atmosféricas <i>Roberto Ulises Cruz Aguirre</i>	102
Luz y fugas de hidrocarburos <i>Roberto Ulises Cruz Aguirre</i>	105

Investigaciones satelitales en el CICESE <i>Roberto Ulises Cruz Aguirre</i>	107
Pruebas de detección y fármacos que vienen del mar <i>Alexei Licea Navarro, Stephannie Lozano Murillo</i>	110
Biofotónica <i>Roberto Ulises Cruz Aguirre</i>	112
Mediciones de equipos y dispositivos electrónicos sin interferencias ni reflexiones <i>Roberto Ulises Cruz Aguirre</i>	115

Vinculación

Roberto Ulises Cruz Aguirre, Jazmín Félix García, Karla Navarro Lugo, Stephannie Lozano Murillo

Comunicación pública de la ciencia

Difusión, divulgación, comunicación pública de la ciencia <i>Norma Herrera</i>	120
---	-----

CAPÍTULO 3 El CICESE se expande

3

La Paz, Monterrey y Tepic

Unidad La Paz: primera extensión foránea <i>Emilio Beier, Armando Trasviña, Romeo Saldívar, Cecilia Soldatini</i>	128
Unidad Monterrey: la ventana noroeste del CICESE <i>Gabriel Alejandro Galaviz Mosqueda y Víctor Manuel Coello C.</i>	131
CICESE-UT ³ : tecnología para resolver problemas sociales <i>Juan Martínez Miranda</i>	134

CAPÍTULO 4 Nuestros estudiantes, nuestro ahora

4

El CICESE desde la óptica de los egresados y estudiantes

Nuestros estudiantes, nuestro ahora <i>Jazmín Félix García, Karla Navarro Lugo</i>	140
Los multiperfiles de nuestros egresados <i>Jazmín Félix García</i>	143

CAPÍTULO 5 El CICESE en números

5

Compendio estadístico

Personal del CICESE a través de las décadas	148
Personal del CICESE en el Sistema Nacional de Investigadores	149
Artículos arbitrados	
Estudiantes de maestría y doctorado	150
Egresados de los posgrados	
Proyectos	151
Propiedad intelectual	



David H. Covarrubias Rosales
Director General

La grandeza del CICESE

Mensaje del 50 aniversario

La grandeza del CICESE se fundamenta y sustenta en su gente, en su compromiso de trabajar día a día para apuntalar y favorecer el crecimiento, proyección, desarrollo y consolidación de esta gran institución. Por ello, festejar estos primeros cincuenta años representa una gran alegría para todos quienes integramos este centro.

En lo personal, es motivo de orgullo formar parte de nuestra comunidad, y un gran honor el poder continuar la labor de los directores generales que me antecedieron. Todos ellos entregaron su inteligencia, capacidades y energía a favor de esta colectividad.

A cincuenta años de su fundación, ¿cómo el CICESE ha llegado a constituirse como un centro de investigación y docencia de excelencia, reconocido nacional e internacionalmente?

Debemos recordar primero que el CICESE es, con mucho orgullo, uno de los Centros Públicos de Investigación del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt), y que nuestra colaboración con los 25 centros hermanos ha sido amplia y constante.

Además, hay varios hechos y circunstancias convergentes y entrelazadas que, en conjunto, han sido la savia que ha nutrido su progreso. Sueños, personas idealistas. *“Cuando tienes un sueño que no puedes dejar ir, confía en tus instintos y persíguelo. Pero recuerda, los sueños reales toman trabajo, toman paciencia, y a veces, requieren que excaves muy profundo. Asegúrate de que estés dispuesto a hacer eso”*, - Harvey Mackay.

En palabras de V. Marengo, una persona idealista es la que sabiendo lo difícil que puede ser el camino, no elegiría ningún otro. Esto lo ejemplificaron quienes impulsaron, a finales de los años sesenta, la creación del CICESE. Gente soñadora, idealista, perseverante y de amplia visión, que supo aprovechar las circunstancias prevaletentes de una investigación científica que se concentraba en la gran ciudad y sin un ente que ejerciera la rectoría.

Así fue que los doctores Nicolás Grijalva y Ortiz, Raúl Ondarza Vidaurreta y Arcadio Poveda Ricalde, cada uno en su área de influencia, soñaron con la creación de un centro de investigación en Ensenada. A ellos hay que agregar, en esa misión, a grandes instituciones: la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Instituto de Oceanografía Scripps, en La Jolla, California; el Conacyt recién creado, el Gobierno Federal a través de Luis Echeverría Álvarez, así como el gobierno de Baja California y la alcaldía de Ensenada. Todos contribuyeron con un apoyo fundamental para hacer realidad ese objetivo.

Así, el 9 de agosto de 1973 se firmó el decreto de creación del nuevo centro de investigación, el cual se denominó Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) y fue publicado en el Diario Oficial de la Federación el martes 18 de septiembre de 1973. El decreto instituyó al CICESE como un organismo federal descentralizado de interés público, independiente, con presupuesto y patrimonios propios. Con objetivos, además, ambiciosos: hacer investigación básica, aplicada y docencia a nivel de posgrado en oceanografía, geofísica y física aplicada.

De esta manera se cumplió el sueño, encabezado por Grijalva, Ondarza y Poveda, para “descentralizar la investigación de la ciudad de México, educar a nuestros científicos en nuestro propio país, abrir oportunidades de trabajo y posgrado, crear un centro de investigación cerca de los recursos naturales...”

Cumplido lo anterior, ¿cuáles son los nuevos retos para los próximos cincuenta años? Compromiso, motivación, visión en atender y contribuir a la solución de los problemas prioritarios del país en las áreas de competencia del CICESE; preservar la identidad, el orgullo, el sentido de pertenencia y la lealtad a esta gran institución, que necesita de todas y todos para hacer comunidad.

Bien lo expresó Ulises Cruz: *“Los seres humanos tendemos a olvidar. En ocasiones estamos tan enfocados en ver hacia adelante, en crecer, en trazar objetivos, que pasamos por alto de dónde venimos. Las instituciones, como los seres humanos, no nacen por sí mismas; tampoco crecen y maduran por sí solas. Atrás de ese carácter propio e identidad única del CICESE, hay mil historias entrelazadas de quienes le dieron forma e hicieron que hoy sea uno de los mejores centros de investigación del país”.*

Contar la historia que el CICESE ha forjado en cinco décadas no es fácil. En esta publicación se comparten aquellas historias de ciencia, arraigo y excelencia que han marcado a este centro de investigación; esos hitos que en distintos momentos han destacado al CICESE como uno de los mejores de México y con gran reconocimiento a nivel internacional.

“Nada tiene tanto poder para ampliar la mente como la capacidad de investigar de forma sistemática y real todo lo que es susceptible de observación en la vida”

Marco Aurelio.



Mensaje de Marina del Pilar Ávila Olmeda

Gobernadora del Estado de Baja California

Hace 50 años nació el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Su aportación a la sociedad bajacaliforniana ha sido invaluable y no puede medirse solamente en los conocimientos generados o en las múltiples ocasiones en que, a la luz de la ciencia, ha sido un sol que ilumina el desarrollo del estado; lo mismo que una voz que otorga rumbo y certeza en situaciones o coyunturas donde solamente el rigor científico puede otorgar una respuesta viable y objetiva.

Baja California, sencillamente, no podría ser lo que hoy es sin el trabajo encomiable, incansable y entregado del CICESE, una labor como la de aquellos primeros misioneros que llegaron a lo que hoy es Ensenada, haciendo camino y construyendo futuro.

Sus académicos son de los mejores no únicamente del país, sino del mundo. El prestigio del CICESE, que ha puesto en alto el nombre de Baja California y el de México, atrae siempre a nuevos investigadores, que desean formar parte de su historia.

Mención aparte merece el trabajo del CICESE en materia sismológica. En una zona de constante actividad telúrica, como la nuestra, sus mediciones fortalecen la prevención y dan un apoyo fundamental al desarrollo de políticas públicas que nos permitan evitar daños en eventos de este tipo.

Entender la ciencia es potestad de los científicos. Hacer que la sociedad en su conjunto la entienda y ponerla a su servicio es cualidad de los mejores científicos. Es justamente lo que hacen, cada día, quienes integran el CICESE. Su labor de llevar la ciencia a todas y todos los bajacalifornianos, nos ha permitido ser una sociedad con una perspectiva más amplia y mejor.

Estoy segura que estos 50 años únicamente son los cimientos de un futuro largo y fructífero, donde el CICESE seguirá haciendo aportes invaluable a Baja California y llenándonos de orgullo con su trabajo, del cual estaremos agradecidos siempre, porque, como diría Carl Sagan, uno de los mayores divulgadores de ciencia del siglo 20, “cada esfuerzo por clarificar lo que es ciencia y de generar entusiasmo popular sobre ella es un beneficio para nuestra civilización global”.

Por lo que nos ha dado en sus primeros 50 años de existencia y lo que nos dará en el futuro.

¡Gracias, CICESE!

1

CAPÍTULO

Origen,
desarrollo y
prospectiva





A principio de la década de 1970, una profunda revolución científica recorría la costa pacífica de Norteamérica: Molina y Rowland, en Berkeley, llevaban la química de los gases a escala de toda la tropósfera; Keeling y Revelle, en Scripps, estudiaban el incremento del carbono atmosférico e intuían el cambio climático global; la tectónica de placas explicaba por primera vez la lenta deriva de los continentes. Y gracias a la ciencia supimos que el comportamiento de las placas terrestres, la atmósfera y las corrientes oceánicas tienen un inmenso efecto sobre nuestras vidas.

“Inspirados por los descubrimientos de la época, un grupo de investigadores mexicanos se atrevió a soñar. ¿Por qué no crear un centro de investigación en Ensenada dedicado a estudiar las ciencias del mar, la atmósfera y la tierra? Así, la efervescencia intelectual llegó a Ensenada y nació el CICESE. (...Cinco) décadas más tarde, el CICESE sigue ahí, como uno de los grandes centros de investigación nacionales, un instituto que ha crecido y madurado hasta adquirir un carácter propio y una identidad única; uno de los mejores del país...”

Exequiel Ezcurra

Origen y crecimiento

► El origen del CICESE

Roberto Ulises Cruz Aguirre*

En palabras de su principal promotor y fundador, Nicolás Grijalva y Ortiz, la creación del CICESE fue una aventura fascinante.

Luego de obtener su doctorado en oceanografía en Alemania en 1964, Grijalva regresó a México y comenzó a trabajar en el Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en la capital del país.

Se buscó descentralizar la ciencia

La propuesta del doctor Grijalva pretendía crear este centro “para descentralizar la investigación de la ciudad de México, educar a nuestros científicos en nuestro propio país, abrir oportunidades de trabajo y posgrado a los estudiantes de Ciencias Marinas, crear un centro de investigación cerca de los recursos naturales objeto de aquella y, por último, contar con centros de investigación de renombre mundial cerca, para la formulación de convenios de trabajo”.

Cuando terminó su gestión como director de Ciencias Marinas regresó al Instituto de Geofísica, pero tres meses al año los pasaba en Scripps. Luis Echeverría asumió en diciembre de 1970 la presidencia de la república, y una de sus primeras acciones, a los días de asumir el cargo, fue crear el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, el Conacyt (actualmente Conahcyt), designando como primer director al ingeniero Eugenio Méndez Docurro.

Respalda UNAM creación del CICESE

En forma paralela, el Instituto de Astronomía de la UNAM comenzó la construcción del Observatorio Astronómico Nacional en la sierra de San Pedro Mártir. El director de Astronomía, Arcadio Poveda Ricalde, amigo de Nicolás Grijalva, le ofreció apoyo para el nuevo centro. Así, le presentó al director del Consejo Técnico de la Investigación Científica de la UNAM, Guillermo Soberón, a quien la idea le pareció muy bien y le solicitó que formulara un proyecto que, de ser aprobado por los directores que formaban el consejo, la UNAM pediría al Conacyt que lo subvencionara.

Superada la aprobación de la UNAM, el Conacyt envió una comisión de científicos para que evaluara la posibilidad de crear este centro en Ensenada. El jefe de la misión fue Raúl Ondarza Vidaurreta, coordinador de Comités para Proyectos del Conacyt, quien vino acompañado por los doctores Emmanuel Méndez Palma, director de Becas, y Remigio Valdés, secretario técnico (ambos del Conacyt) así como por los doctores Arcadio Poveda y Diego Córdoba, de la UNAM. Y desde luego, por Nicolás Grijalva.

En un congreso celebrado en Moscú en 1966 conoció a Charles Cox, quien era profesor en el Instituto de Oceanografía Scripps. Entablaron amistad, platicaron de la Escuela Superior de Ciencias Marinas (actualmente Facultad de Ciencias Marinas) que la UABC abrió en Ensenada, y ahí mismo le ofreció trabajo en Scripps, el principal centro oceanográfico en la costa oeste de Estados Unidos.

Charles Cox conocía Ciencias Marinas porque cotidianamente impartía cursos y seminarios, junto con otros profesores de Scripps como Gordon Groves, Hebert York, y Myrl Hendershot. Por ello, cuando Grijalva llegó en 1968 para comenzar su trabajo de investigación en La Jolla, se trasladó a Ensenada y le ofreció al director de entonces, el ingeniero Gabriel Ferrer del Villar, impartir clases de matemáticas y oceanografía física, y ayudar en lo posible.

En julio de 1969 el rector de la UABC, Rafael Soto Gil, lo nombró director de la escuela. En su breve gestión, pues duró sólo hasta diciembre de 1970, se cambió el mapa curricular de la carrera de Oceanología, se adquirió un terreno frente a la costa, se renovaron los laboratorios, se contrataron maestros de tiempo completo y se graduaron los primeros alumnos, entre ellos María Luisa Argote, Saúl Álvarez Borrego y Leonel López de los Ríos.

Pensó en el futuro de los egresados

Esta idea de crear en Ensenada un centro científico con estudios de posgrado lo propuso en ese tiempo Grijalva a la UABC. “Pensaba que era injusto lanzar a los egresados a un mundo que los esperaba con ansia, sin estar lo suficientemente preparados para las tareas de un oceanólogo. Necesitaban prepararse y estudiar un posgrado o una especialización”.

La idea no fue aceptada. Por eso, cuando se enteró que en noviembre de 1969 Luis Echeverría, entonces candidato presidencial, iba a recorrer la península de Baja California en busca del voto, envió una delegación de estudiantes a La Paz para invitarlo a que visitara Ciencias Marinas. El candidato aceptó. Prepararon el salón de actos en el bodegón que ocupaba entonces la escuela en la calle Primera y ahí, en la entrada, le presentó el proyecto que pretendía la fundación de un centro científico de buen nivel.



Esta comisión realizó varias entrevistas: con el gobernador del estado, Milton Castellanos; con el presidente municipal de Ensenada, Octavio Pérez Pazuengo; con el director de Ciencias Marinas, Carlos de Alba Pérez, con el director del Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO), Katsuo Nishikawa, y con el rector de la UABC en Mexicali, Luis López Moctezuma. También visitaron Scripps, donde les aseguraron su apoyo docente y para la investigación.

Recibe luz primer proyecto de Oceanografía

Así se obtuvo el consentimiento del proyecto 027 *Estudios oceanográficos en aguas adyacentes al territorio nacional*, aprobado el 22 de abril de 1972 con un presupuesto inicial de 8.1 millones de pesos. Se propusieron tres investigaciones: las mareas, las corrientes y el oleaje, teniendo como director al doctor Grijalva y Ortiz (UNAM), y como subdirectora a la oceanóloga María Luisa Argote (IIO-UABC). Así nació el área de Oceanografía.

Primeras instalaciones, proyectos y arribo de estudiantes

Las primeras instalaciones del centro fueron cuatro locales rentados en la esquina de las calles Novena y Gastélum, en el centro de Ensenada.

Aquel verano llegaron los primeros estudiantes, unos 10, entre físicos, matemáticos y oceanólogos, algunos provenientes de la ciudad de México y otros egresados de Ciencias Marinas; todos becados por la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES) y el Conacyt. Entre ellos estaban Carolina Morales, Alberto Amador, Leonel López de los Ríos, la propia María Luisa Argote, René Pinet, José Luis Ochoa y Artemio Gallegos.



En ese tiempo Scripps operaba una red de sismógrafos en el Golfo de México, cuya operación cedió en ese tiempo a la UNAM. Juan Madrid González, investigador del Instituto de Geofísica, solicitó hacerse cargo de su operación y se trasladó a Ensenada para sumarse al nuevo centro. Una vez protocolizada la cesión de esta red al Conacyt, junto con otros investigadores de la UNAM y de Scripps (Alfonso Reyes, quien estaba por concluir su doctorado) se hicieron cargo del área de Geofísica y así llegaron más estudiantes: Luis Munguía, Cecilio Rebolgar y Armando Albores.

En enero de 1973, Méndez Docurro dejó la dirección general del Conacyt para ser secretario de Comunicaciones y Transportes. Si bien el presupuesto para el proyecto fue suspendido temporalmente, el 22 de mayo se logró la autorización de un segundo proyecto de investigación para Ensenada, el proyecto 086 denominado *Investigación científica en instrumentación y física aplicada*, con duración de tres años y avalado por Arcadio Poveda, director del Instituto de Astronomía.

El Conacyt aprobó 7.1 millones de pesos para la operación de los primeros tres años. En junio de 1973 se rentó un local en la esquina de la Av. Ruiz y la Calle Diecisiete. En este local se ubicaron, en principio, el taller mecánico, el nuevo departamento de Física Aplicada y el Centro de Cálculo.

Inicia CICESE viaje de 50 años: decretan su creación

En la ciudad de México, Raúl Ondarza elaboró un preciso y detallado decreto que fue presentado al presidente de la república para su revisión y eventual aprobación. El 9 de agosto de 1973 se firmó el decreto de creación del CICESE, el cual fue publicado en el Diario Oficial de la Federación el 18 de septiembre de 1973, con los objetivos de hacer investigación básica, aplicada y docencia a nivel de posgrado en oceanografía, geofísica y física aplicada.



De septiembre de 1973 a finales de 1974 se vivieron crisis muy fuertes, propias de un centro que se estaba formando en el punto más alejado de la capital del país, en una ciudad con un desarrollo académico incipiente, y donde los grupos de trabajo no podían integrarse debidamente.

En noviembre de 1974, Nicolás Grijalva tuvo que dejar la dirección del CICESE y regresar a la ciudad de México, por lo que Mario Martínez asumió provisionalmente la dirección del centro. A los pocos días Saúl Álvarez Borrego, quien era director de Ciencias Marinas y representante del rector de la universidad ante la Junta de Gobierno, fue nombrado delegado plenipotenciario de esta junta. Fue hasta febrero de 1975 cuando la máxima autoridad del centro lo nombró director general interino.

A partir de entonces comenzó una segunda fase en el CICESE, un periodo de mejoría y crecimiento, de evolución y apertura que le ha permitido llegar a su 50 aniversario como una institución consolidada, madura y con una identidad única.

*Integrante del Departamento de Comunicación.

► Nuestro campus

Roberto Ulises Cruz Aguirre, Adrián Macías Díaz, Victoria Serna Zepeda*

Desde que el CICESE comenzó actividades en locales alquilados en 1972, hasta que empezó la construcción de su primer edificio propio, transcurrieron cinco años. Esta fue la etapa más difícil para la institución.

A partir de entonces, la infraestructura y equipamiento del CICESE no ha dejado de crecer. Lo que hoy vemos es un campus central que se comparte con dos institutos de la UNAM, teniendo además como vecinos a institutos y facultades de la UABC con temáticas académicas similares y complementarias.

LOS PRIMEROS LOCALES

- **Junio de 1972.** Al aprobarse el primer proyecto que instituyó el centro, se rentaron cuatro locales comerciales en la esquina de las calles Novena y Gastélum. En ellos cabían todos: la Dirección General, Administración, la biblioteca, el Centro de Cálculo, salones de clases y los departamentos de Oceanografía y Geofísica.
- **Mayo de 1973.** Al aprobarse el segundo proyecto, se alquila una bodega en la esquina de la Av. Ruiz y calle 17.
- **Noviembre de 1976.** Por el crecimiento que se venía registrando, se renta un local más amplio en la Av. Espinoza No. 843, esquina con la calle Octava.

UN TERRENO PROPIO

- **Agosto de 1972.** Octavio Pérez Pazueño y los socios de la Inmobiliaria Bella Vista donan al Conacyt una porción de terreno de 3.5 ha, donde hoy se encuentra el edificio de Ciencias de la Tierra. Simultáneamente, Alfredo Pesqueira Olea donó un segundo terreno en Punta Morro, en la zona de Playitas. Este predio se intercambió con la UABC.



- **En 1979** se adquirieron 11.6 ha junto al terreno ubicado en la autopista a Tijuana.

- **En 1988** se escrituraron 4 ha más, y **en 2014** 2.8 ha adicionales.

Así, el predio que ocupa el CICESE tiene una superficie total de 15.8 ha y sus edificios suman 43 mil 408 metros cuadrados de construcción.

Cómo edificamos nuestro campus

FÍSICA APLICADA. Fue el primer edificio del campus. Se construyó entre 1977 y 1979, junto con los talleres anexos. El tercer piso comenzó a construirse en 1996. Alberga los departamentos de Electrónica y Telecomunicaciones y Óptica.

- Aquí se gestó el Plan Nacional de Telecomunicaciones Rurales que catalizó la entrada de México al mundo de las comunicaciones satelitales en los 80.
- En los 90 se equipó el mejor laboratorio de altas frecuencias en Latinoamérica; se hicieron los primeros enlaces punto a punto de comunicaciones por láser de América Latina y se desarrolló la carga útil del primer satélite experimental mexicano, el SATEX.
- En 2019 se desarrolló el Painani-I, el primer nanosatélite mexicano que se puso en órbita.

- Algunos de los laboratorios mejor equipados en óptica del país se encuentran aquí, lo que ha permitido ser pioneros y realizar investigaciones de frontera en líneas como láseres de pulsos ultracortos, óptica no lineal, óptica cuántica y esparcimiento de luz por superficies.

- Aun cuando muchos proyectos son de ciencia básica, desde los 80 han incursionado exitosamente en procesos de vinculación. Augen Optics y Calipo son ejemplo de ello.

- Ciertos equipos son de primer nivel, como el amplificador de pulsos ultracortos y un microscopio electrónico de barrido, así como el equipamiento del Laboratorio de Óptica Cuántica, uno de los mejores de México.

CIENCIAS DE LA TIERRA. Fue el segundo edificio. Su construcción tomó dos años: 1980 y 1981. Alberga los departamentos de Geología, Geofísica Aplicada y Sismología, que constituyen uno de los grupos más consolidados de geociencias en México.

- Más de 130 estaciones interconectadas a la Red Sismológica del CICESE monitorean la actividad sísmica del noroeste de México.
- La primera estación sísmica que transmitió datos con telemetría digital se desarrolló aquí. Se instaló en el Valle de Mexicali en 1977 y con ello, cambió el registro de los sismos a nivel mundial. Este desarrollo ganó el Premio Nacional de Telecomunicaciones INDETEL en 1979.
- En el segundo piso está el centro de procesamiento de datos que gestiona automáticamente la información de la Red Sismológica del CICESE. Es uno de los más avanzados del país.
- En 1995 se creó el Laboratorio de Geocronología Argón-Argón para fechar rocas y minerales, el primero en México y Latinoamérica.
- En febrero de 2016 se nombró *Francisco Suárez Vidal* al edificio, en honor a este investigador que trabajó en el Departamento de Geología.



OCEANOLOGÍA. Su construcción abarcó de 1986 a 1990, y es el tercero que se edificó aquí. Cuatro departamentos (Ecología Marina, Oceanografía Biológica, Oceanografía Física y Embarcaciones Oceanográficas) de los cinco que constituyen a esta división académica, la más grande del CICESE, ocupan este edificio.

- Como grupo académico, investigan el medio ambiente marino y costero, así como su relación con el clima y los procesos oceanográficos en todos los mares mexicanos.
- Aquí se han formulado estrategias para aprovechar y conservar los recursos naturales, costeros y marinos, así como para la delimitación y planes de manejo de áreas protegidas.
- Dos de los tres megaproyectos más importantes suscritos hasta la fecha por el CICESE son liderados por personal de esta división: el proyecto metoceanico financiado por Pemex y el del Fondo Sectorial Sener-Conacyt-Hidrocarburos, ambos en el Golfo de México: uno estudiando la circulación de aguas profundas, y el otro para dar respuesta rápida ante probables derrames petroleros.
- El grupo de oceanografía física cuenta con un sólido reconocimiento internacional. Son los únicos que desde mediados de los 90 han estudiado la corrientometría profunda y superficial en el Caribe mexicano, el estrecho de Yucatán y el Golfo de México.

• El primer buque oceanográfico del CICESE, el *Francisco de Ulloa*, operó 20 años -de 1993 a 2013- y realizó 300 campañas. El segundo, *Alpha Helix* inició operaciones en 2014. Ante la insuficiencia de estos barcos en México, su trabajo ha sido trascendente.

Entre 1994 y 1995 se construyó el segundo bloque de edificios: la biblioteca, el edificio administrativo y el de Acuicultura. Comenzar la ocupación de la parte alta del campus marcó un parteaguas en el crecimiento del CICESE.

BIBLIOTECA. Comenzó a funcionar en julio de 1995. Antes ocupó un anexo en el edificio de Ciencias de la Tierra: una construcción de madera de un solo piso donada en 1988 por la Universidad de California en Irvine.

- Desde noviembre de 2014 la planta baja es ocupada por la Dirección de Estudios de Posgrado.
- El 15 de septiembre de 2021 este edificio se nombró *Dr. Nicolás Grijalva y Ortiz*, en reconocimiento al principal promotor y primer director del CICESE.





ADMINISTRACIÓN. Inaugurado en septiembre de 1996. Además de las áreas administrativas, incluyendo la Dirección General, alberga la Dirección de Impulso a la Innovación y el Desarrollo y el Departamento de Comunicación.

ACUICULTURA. Se comenzó a ocupar a finales de 1996. Este departamento académico ocupaba el local de la Av. Espinoza, en el centro de Ensenada. Mudarse aquí permitió integrar a todo el CICESE en un solo campus.

- El corazón de este edificio es su toma de agua de mar y el sistema que la bombea desde la línea de costa, a 850 m de distancia, y la distribuye con un sistema cerrado en laboratorios, plataformas e invernaderos a 70 m de altura.
- Gracias a esta emblemática infraestructura, hasta 2020 se habían podido concretar 250 proyectos de investigación, 350 tesis de maestría y 55 de doctorado, más de 800 publicaciones, cuatro patentes y 11 más en proceso de otorgamiento, entre otros productos académicos.
- Tras 24 años de servicio, en 2022 concluyó la remodelación de todo el sistema, operando ahora con más agua, de mejor calidad y con mayor capacidad de almacenamiento.



TELEMÁTICA. Se inauguró el 18 de septiembre de 2003. Primero fue ocupado por los departamentos de Redes y de Cómputo de la Dirección de Telemática. Después se hicieron adecuaciones en la planta baja y en septiembre de 2008 se integró el Departamento de Ciencias de la Computación de la División de Física Aplicada.

- Este edificio hospeda el centro de datos, un recinto habilitado en climatización, seguridad e infraestructura para albergar equipos y servicios de cómputo de alto desempeño en apoyo a la investigación.
- Tomando en cuenta su capacidad de cómputo y la especialización de los servicios que soporta el centro de datos, no solo en cómputo de alto desempeño, el CICESE estaría entre las primeras cinco instituciones nacionales.

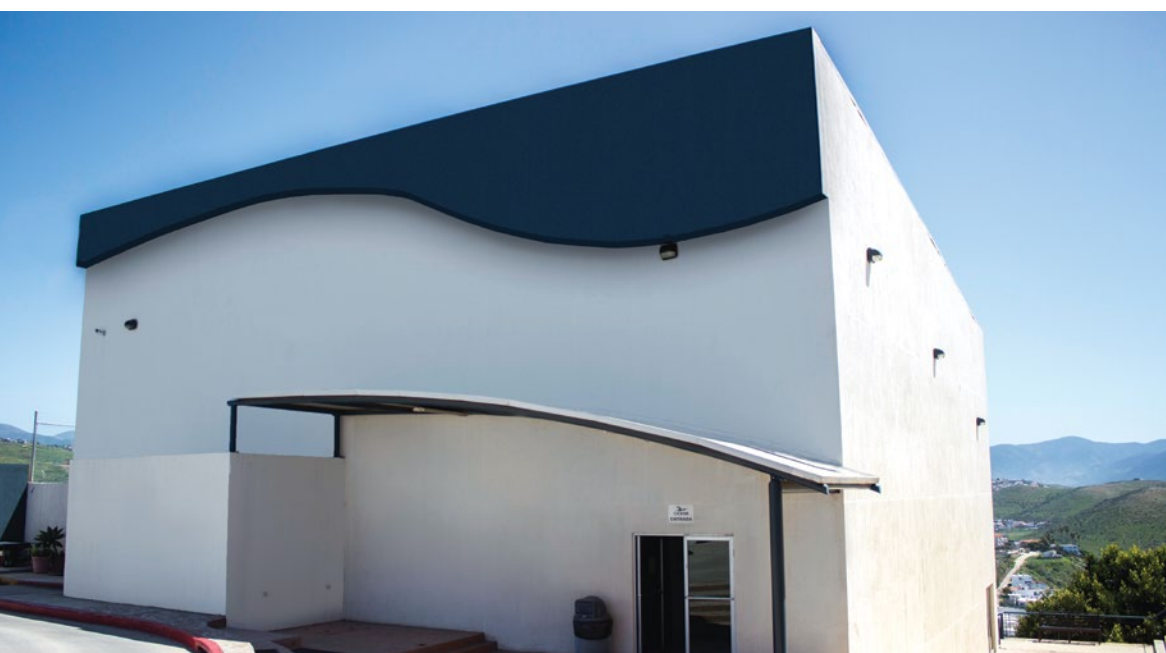


DIVISIÓN DE BIOLÓGÍA EXPERIMENTAL Y APLICADA, EDIFICIO SUR.

Se construyó entre 2003 y 2007, y en él se asientan los departamentos de Microbiología y de Biotecnología Marina. El 12 de octubre de 2021 se nombró *Dr. Salomón Bartnicki García*, en reconocimiento a la trayectoria del fundador de esta división académica.

- En el 2000, Bartnicki llegó repatriado al CICESE, introdujo los estudios en microbiología, aglutinó los grupos que realizaban investigaciones en biología experimental y ciencias de la vida y cambió, con la creación de una nueva división (septiembre de 2003), el perfil académico de este centro.
- En Microbiología, uno de los grupos que trabaja con *Neurospora crassa*, un hongo filamentoso utilizado ampliamente como modelo de estudio, tiene reconocimiento internacional.

En 2010 se terminaron tres obras: el auditorio institucional con capacidad para 250 personas, inaugurado el 18 de junio; el Laboratorio Húmedo del Departamento de Biotecnología Marina, y las aulas modulares (auditorio) de Ciencias de la Tierra, ambas inauguradas en noviembre.



SUBSISTEMA NACIONAL DE RECURSOS GENÉTICOS ACUÁTICOS (SUBNARGENA).

Con recursos aportados principalmente por la Sagarpa, este edificio se inauguró el 7 de agosto de 2012. Aquí se desarrollan protocolos de criopreservación de esperma, huevos y embriones, tejidos y material genético de especies acuáticas, y se realiza investigación genética.

- En 2005 se creó en el CICESE el primer banco de germoplasma en Baja California, para resguardar cualquier tipo de células con capacidad para reproducirse o dar origen a otras células.

- En 2009 se firmó con la Sagarpa el acuerdo mediante el cual el CICESE se constituye como sede del Subnargena. Al año siguiente comenzó la construcción del nuevo edificio.
- En agosto de 2013 se habilitó la Casa del Académico, en la planta baja.

DIVISIÓN DE BIOLOGÍA EXPERIMENTAL Y APLICADA, EDIFICIO NORTE.

Originalmente albergó la Unidad de Desarrollo Biomédico y se inauguró en septiembre de 2013 con dos pisos; en 2015 se construyó el tercero y en 2017 el cuarto. Hoy aloja los departamentos de Innovación Biomédica y de Biología de la Conservación.

- La inversión original fue de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, y permitió no solo construir las instalaciones, sino adquirir equipo con tecnología estado del arte para hacer investigación aplicada en el área de la salud humana.

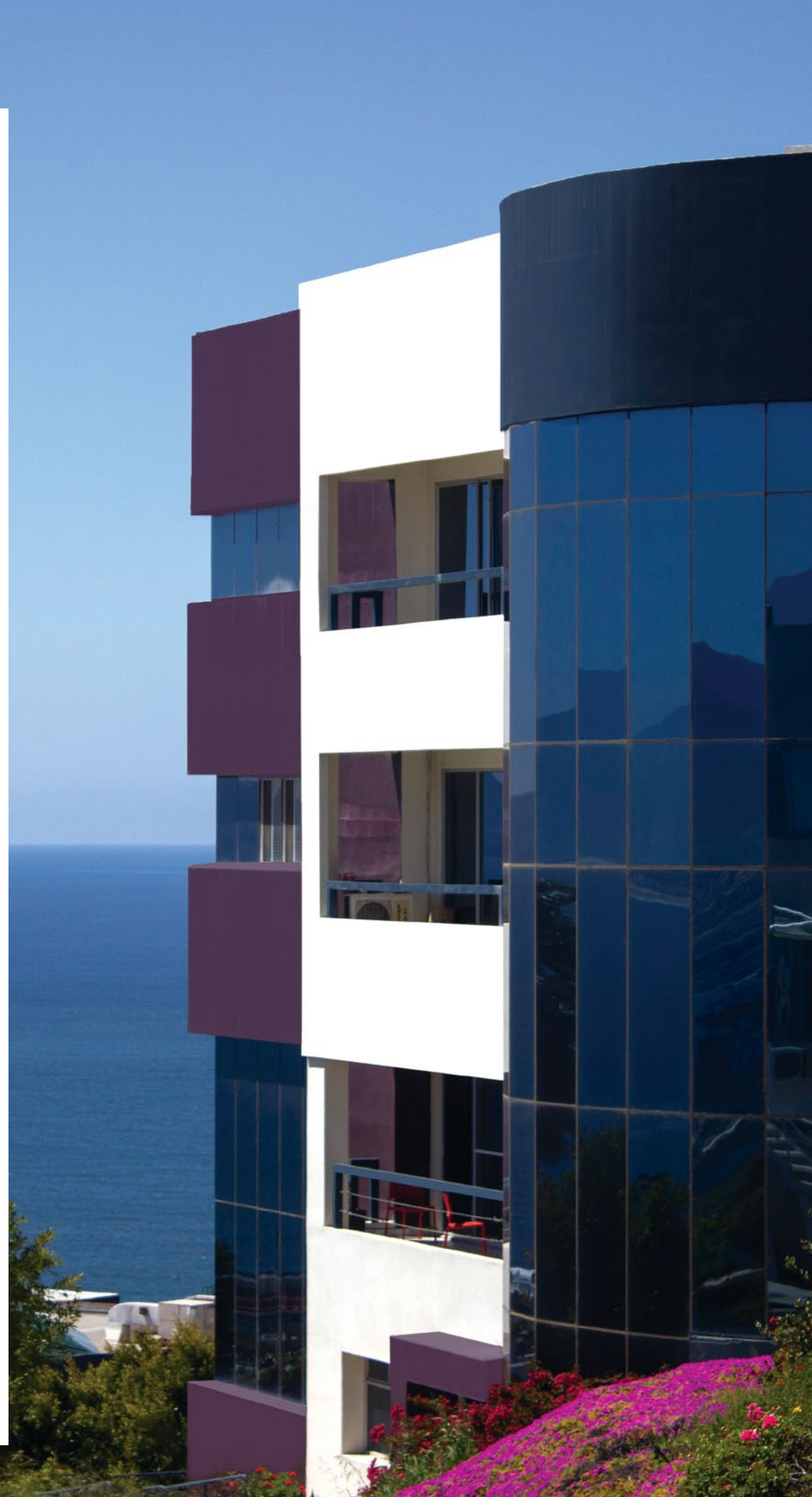
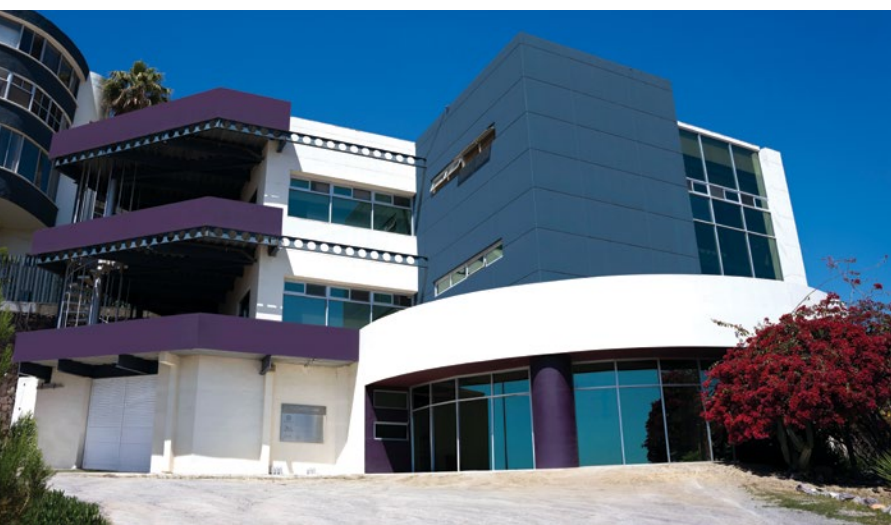
- La estrategia en Innovación Biomédica siempre ha sido desarrollar medicamentos y estrategias de diagnóstico susceptibles de generar patentes y que permitan la transferencia de tecnología.

SISTEMA DE LABORATORIOS ESPECIALIZADOS.

Creado por la Sener y el Conacyt en 2014, el Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica (CeMIEGeo) inauguró este edificio en 2016.

- El CeMIEGeo fue un consorcio liderado por el CICESE de 2014 a 2019 en el que participaron 22 instituciones académicas y empresas mexicanas. Desarrollaron 30 proyectos para potenciar el uso de esta fuente de energía.

- Actualmente los cinco laboratorios ofrecen servicios especializados y son operados por la División de Ciencias de la Tierra.



UNIDAD CULTURAL Y DEPORTIVA. Inaugurada el 13 de marzo de 2015.

CIGOM. El Consorcio de Investigación del Golfo de México se conformó en 2015 con cerca de 300 investigadores de 12 instituciones académicas y una empresa. Es liderado por el CICESE. La inauguración de su edificio se realizó en abril de 2017.

- El Fondo Sectorial Sener-Conacyt-Hidrocarburos financió este megaproyecto. Busca establecer, entre otros escenarios, mapas de riesgo, tiempos de arribo y estimaciones de posibles impactos ambientales en caso de ocurrir derrames de hidrocarburos en el Golfo de México.

- La planta baja de este edificio lo ocupan cuartos de refrigeración para almacenar muestras y especímenes extraídos de cruceros realizados en el golfo.

EDIFICIO DEL DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFÍA FÍSICA.

La primera fase comenzó a construirse en 2019 con recursos del Fondo Mixto Conacyt-Baja California y fondos concurrentes del CICESE.

- Beneficiará a cerca de 60 proyectos de investigación, contará con 24 laboratorios y duplicará la capacidad para atender estudiantes en dos posgrados.

- Este grupo ha realizado importantes proyectos de investigación en el Golfo de México desde mediados de los 90. Un tercio del costo de construcción proviene de recursos autogenerados por estos proyectos.

*Integrantes del Departamento de Comunicación.



Los procesos de la investigación

► Un vistazo a la investigación

Norma Herrera*

El decreto de creación del CICESE publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF), el 18 de septiembre de 1973 –respecto la búsqueda de conocimiento– estableció la realización de investigación científica básica y aplicada inicialmente en tres campos: oceanografía física, geofísica, física e instrumentación, los cuales se explican en el contexto social que impulsó la creación del centro y el entorno natural de su ubicación.

Los tres campos de estudio iniciales aumentaron a 13 en la reestructuración del centro convenida en un nuevo decreto publicado en el DOF, el 29 de agosto de 2000, y registraron un incremento el 13 de octubre de 2006 cuando nuevamente el DOF publicó el decreto por el cual se reestructuró el centro.

Dicha reestructuración se dio con el objeto de realizar actividades de investigación científica básica y aplicada, innovación tecnológica y desarrollo en 20 campos: oceanografía física, oceanografía biológica, climatología, meteorología, acuicultura, biotecnología, biología, microbiología, ecología, sismología, geofísica, geología, electrónica, instrumentación, telecomunicaciones, óptica, optoelectrónica, computación, telemática, tecnologías de la información y disciplinas afines.

Al cierre de esta edición, en el DOF se publicó el 8 de mayo de 2023 el decreto por el que se expide la Ley General en Materia de Humanidades, Ciencias, Tecnologías e Innovación que guiará la política científica durante los próximos años.

El ahora Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt) coordinará “la integración democrática de una Agenda Nacional que establezca líneas de acción en torno de los asuntos estratégicos o prioritarios para el desarrollo del país y los temas de interés público nacional o de atención indispensable en materia de humanidades, ciencias, tecnologías e innovación, sin menoscabo de la libertad de investigación ni de la autonomía que reconozca la ley a las universidades e instituciones públicas de educación superior”.



Valgan los apuntes previos para destacar que el CICESE, en tanto institución pública federal, se adapta a la política pública en ciencia y tecnología a nivel nacional, así como a la generación de nuevo conocimiento en el plano internacional.

En tanto, a grandes rasgos, veamos una panorámica de la investigación en el CICESE en cinco décadas. Acercamientos particulares a los diversos campos de estudio se incluyen en páginas subsecuentes de esta misma edición.

De temas locales a globales

De la temática inicial enfocada en aspectos locales –las mareas, las corrientes y el oleaje en la Bahía de Todos Santos y frente a la isla Guadalupe, en Ensenada–, el CICESE ha ido avanzando, según el contexto.

Con el primer proyecto aprobado llegaron alumnos de posgrado que pronto se distribuyeron en los grupos de trabajo, ya que –desde entonces– un sello institucional característico ha sido la conjunción entre la investigación y la formación de recursos humanos: maestros en ciencia, inicialmente, y doctores en ciencia, posteriormente.

Las investigaciones fueron superando la frontera de lo local, y en palabras de Mario Martínez, director del CICESE de 1989 a 1997, rememorando aquellos años: “... todos los que trabajamos en esa época empezamos a hacer la ciencia de Baja California, una ciencia que al paso de los años probó ser exitosa, que logró desarrollar el potencial científico de esta región, y rompió con el paradigma centralista de que sólo podía realizarse en ciudades como el Distrito Federal, o en instituciones como la UNAM”.

Haciendo ciencia desde el extremo noroeste de México, se fue avanzando hacia la participación en redes de investigación y en consorcios con temas relevantes para la región y para México que poco a poco fueron esculpiendo el reconocimiento nacional e internacional del centro por la calidad de sus investigaciones básica y aplicada, y la diversidad de disciplinas cultivadas que le han permitido atender problemas desde un enfoque multi e interdisciplinario, característico de la ciencia del siglo XXI.

Un aspecto relevante en el desarrollo institucional fue la creación en febrero de 2012 del fideicomiso “Fondo de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico del CICESE”, mediante el cual se apoyaron investigaciones de grupos internos, pero multidisciplinares; un año después, como resultado de una reunión de planeación –bajo el liderazgo del doctor Federico Graef Ziehl, se fomentó la práctica de la planeación estratégica que ha continuado hasta el presente–, se definió el fomento y desarrollo de proyectos multidisciplinares, de gran envergadura. En octubre de 2020, este fideicomiso, junto con una centena más, quedó suprimido siguiendo el mandato de la política pública federal.



A fines de 2014, la calidad de sus investigaciones y el prestigio labrado a nivel nacional e internacional posicionaron al CICESE como líder de tres megaproyectos, lo cual se explica al contabilizar los años de investigación básica previa –desde los años 90 en el caso de los proyectos en el Golfo de México y el Caribe mexicano– y la visión de establecer una colaboración interdisciplinaria para atender problemas de magnitud nacional desde una perspectiva multidimensional y multiinstitucional.

Los megaproyectos que históricamente han generado mayor prestigio en investigación y recursos propios a la institución han sido: 1) Mediciones y análisis meteoceánicos del Golfo de México, a cargo del grupo Canek del Departamento de Oceanografía Física, megaproyecto financiado directamente por PEMEX, paraestatal con la cual continúan colaboraciones; 2) el Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica (CeMIEGeo), financiado por el Fondo Sectorial Sener–Conacyt–Sustentabilidad Energética y 3) Plataformas de observación oceanográfica, línea base, modelos de simulación y escenarios de la capacidad natural de respuesta ante derrames de gran escala en el Golfo de México, cuyo trabajo colaborativo generó la integración del Consorcio de Investigación del Golfo de México (CIGoM).

Trabajo en red, consorcios

Por iniciativa federal, se impulsaron las redes temáticas de investigación del Conacyt con el objetivo de conjuntar en grupos de investigación a investigadores, tecnólogos y empresarios, con intereses en común y con la disposición para colaborar y aportar sus conocimientos, habilidades y capacidades para impulsar sinérgicamente soluciones a problemas y temas estratégicos para el desarrollo del país.

En ese contexto nació la Red Temática sobre Florecimientos Algales Nocivos (Red-FAN) con el fin de contribuir al conocimiento científico de los FAN para entender las causas que los originan, su efecto negativo sobre los ecosistemas, su impacto en la salud pública, mitigación y propuestas de manejo, para el beneficio de la sociedad y sus actividades productivas. La red también tiene la misión de contribuir en la atención de problemas nacionales y colaborar en el diseño e implementación de políticas públicas para la atención de la problemática asociada a los FAN.

En 2016, con el fin definir, priorizar y alinear la agenda de investigación de la comunidad científica y tecnológica del Sistema de Centros Públicos de Investigación (26 centros de investigación y un fideicomiso) del Conacyt con un horizonte de 10 o más años, se dijo, se crearon los Programas de Investigación de Largo Aliento (PILA)⁴ pensados para hacer posible el abordaje de grandes problemas nacionales a través de capacidades complementarias entre grupos y centros y de aplicar enfoques multidisciplinarios. De los tres PILA creados: Naturaleza del Universo, Cambio climático y sustentabilidad, Sociedad y Desarrollo, el CICESE fue parte del primero.

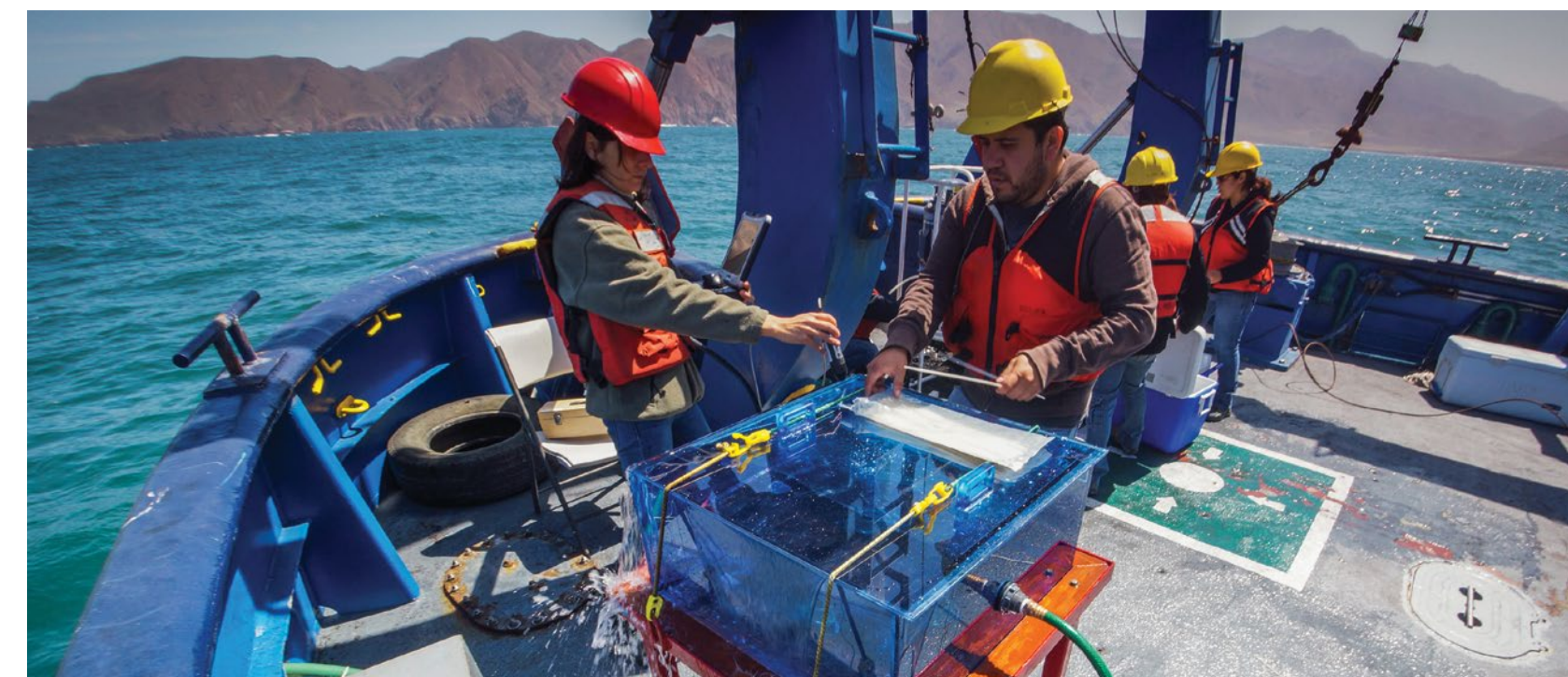
También a fines de 2016, directivos del Conacyt anunciaron una reestructuración a fondo del Sistema de Centros. La intención, se dijo, era “pasar a ser un verdadero sistema de alto desempeño y masa crítica, de pertinencia regional e impacto nacional, y cuyos investigadores tengan acceso a infraestructura y redes de clase mundial”⁵.

Se planteó implementar un sistema basado en cinco coordinaciones –de manufactura avanzada y procesos industriales; de física, matemáticas aplicadas y ciencia de datos; de medio ambiente, producción de alimentos y biotecnología; de economía, política pública y desarrollo regional; de historia y antropología social–, cada una con temas de investigación comunes que implementaran “proyectos bandera” por coordinación y arrancar con el nuevo esquema en enero de 2017. Por ser multidisciplinario de origen, el CICESE quedó inserto en dos coordinaciones: la de Física, matemáticas aplicadas y ciencia de datos, y la de Medio ambiente, producción de alimentos y biotecnología.

Recientemente, en 2019, en proyectos de Ciencia de Frontera se aprobaron a investigadores del CICESE dos propuestas presentadas de manera individual, en sismología y oceanografía física, así como diez propuestas grupales en óptica, geología, innovación biomédica, tecnologías de la información y la comunicación (Unidad Tepic), dos en oceanografía física, dos en ecología marina y dos en oceanografía biológica.

Bajo el marco del CIGoM, en 2022, comenzó el proyecto piloto “Sistema de observación y alerta temprana del sargazo”, cuyo objetivo es generar conocimiento en tres ejes fundamentales: detección (cuánto sargazo hay y dónde está), predicción (a dónde va a llegar, cuándo y de dónde viene) y ambiente (qué condiciones ambientales meteoceánicas, biogeoquímicas y físicoquímicas se relacionan con las arribazones), así como la construcción de una plataforma web que integre toda esta información.

Un proyecto bandera encuadrado en los Programas Nacionales Estratégicos (Pronaces) del Conacyt es el liderado por el doctor Ernesto García Mendoza, responsable del laboratorio FICOTOX, y del proyecto “Atención de la problemática asociada a Florecimientos Algales Nocivos en Baja California: integración del conocimiento a necesidades socioambientales y económicas”.



Cuatro universos de conocimiento en un solo centro

En el universo oceánico, las investigaciones han evolucionado y ahora incluyen desde el mundo micro hasta fenómenos naturales de gran escala y en la frontera océano atmósfera –tsunamis, eventos extremos, climatología, meteorología– e investigaciones en todos los mares nacionales, particularmente el Pacífico y el Golfo de México; sectores de gran impacto social: pesquerías, acuicultura; el estudio y mejora de procesos biotecnológicos; el desarrollo de diversos modelos con el propósito de prevenir o minimizar probables desastres derivados de fenómenos naturales o fallas tecnocientíficas.

Además, se han desarrollado protocolos de criopreservación de esperma, huevos y embriones, tejidos y material genético de especies acuáticas, y se realiza investigación genética. Muchas investigaciones han contribuido a resolver problemáticas sociales y productivas de la región y de México.

Los estudios también han derivado en acciones de capacitación a productores y ofrece una gama de servicios, por ejemplo, a la industria acuícola en lo que al análisis de biotoxinas marinas en protección de la salud pública y el acceso a mercados nacionales e internacionales gracias al reconocimiento y certificación que goza el CICESE.



En las décadas de los 80 y 90 hubo aportes importantes a las telecomunicaciones rurales que influyeron en la entrada de México al mundo de las comunicaciones satelitales, así como en el desarrollo del primer satélite experimental mexicano (SATEX) y, recientemente, el diseño, construcción y ensamble del primer nanosatélite mexicano, el Painani-I.

En el área de óptica se han realizado investigaciones de frontera en líneas como láseres de pulsos ultracortos, óptica no lineal, óptica cuántica y esparcimiento de luz por superficies. Y el área de energías renovables crece y se consolida con proyectos, entre otros, para el desarrollo de nuevos materiales y de métodos para generar, almacenar, ahorrar y usar eficientemente la energía.

En el universo de las ciencias de la Tierra, las investigaciones en los departamentos de Geología, Geofísica Aplicada y Sismología han favorecido la integración de grupos consolidados y reconocidos en México y el extranjero. Su vocación incluye la atención local, regional, nacional e internacional. La vocación de esta división es una amalgama de ciencia básica y su aplicación.

Más de 130 estaciones interconectadas monitorean la actividad sísmica del noroeste de México que se complementa con el trabajo realizado desde el centro de procesamiento de datos que gestiona automáticamente la información de la Red Sismológica del CICESE.



Respecto a la investigación en ciencias biológicas en el CICESE, Horacio de la Cueva destaca dos circunstancias y un entorno propicio que favorecieron la creación y evolución de la hoy División de Biología Experimental y Aplicada: 1) dentro del Departamento de Ecología Marina la existencia de un grupo de investigadores cuyos intereses de estudio no cuadraba con los del resto del departamento "y nuestros estudiantes y temas de tesis no encajaban en los requisitos de los programas de posgrado de ecología marina y acuicultura"; 2) la repatriación a México, en el 2000, del doctor Salomón Bartnicki García –profesor emérito de la Universidad de California Riverside–, hecho consumado gracias a la visión del entonces director general del CICESE, Francisco Javier Mendieta Jiménez.

Identificados vacíos en la investigación y posgrados en el noroeste de México que no eran cubiertos en el centro ni otras instituciones académicas, e integradas ideas y visiones "surge el nombre que une nuestros intereses: biología experimental y aplicada", recuerda De la Cueva.

Con la llegada de Bartnicki comenzaron los estudios en microbiología donde un grupo trabaja con *Neurospora crassa*, un hongo modelo de estudio, y ha ganado reconocimiento internacional. Otra aportación destacada es la investigación aplicada en el área de la salud humana enfocada en desarrollar medicamentos y pruebas de diagnóstico.

CICESE más allá de Ensenada

La Unidad La Paz, en Baja California Sur, con más de 25 años en operación, se ha enfocado en estudios de sismología, de los mares tropicales frente a México, medición del nivel del mar y las lagunas costeras, estudios de ecología costera y meteorología regional.

La Unidad Monterrey, cuya operación data del año 2000, enfoca sus investigaciones en nanoóptica, optomecatrónica y redes, así como aplicaciones inteligentes dirigidas a dispositivos médicos y sistemas de e-Salud. En 2018, derivado de la política pública en ciencia, se agruparon por especialidades en consorcios diversos centros de investigación, entre otros el Consorcio de Óptica Aplicada. Bajo esta premisa y con fondos del Conacyt se construyó la segunda etapa del edificio de la unidad que sigue en expansión.

La Unidad de Transferencia Tecnológica Tepic, en Nayarit, comenzó operaciones en 2014 y se inauguró en febrero de 2015. Desde su origen, las áreas de estudio han sido las Tecnologías de la Información y la Comunicación y en los últimos años con énfasis en investigaciones en sistemas interactivos e inteligentes. Su incidencia incluye los sectores prioritarios de la región: agroindustria, turismo y salud.

Del hoy al mañana

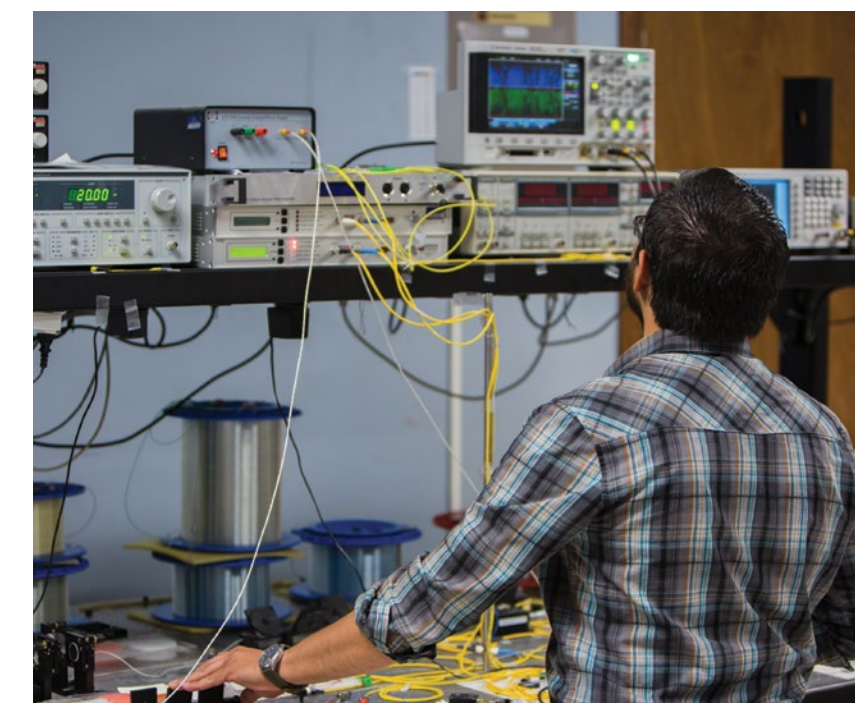
El Programa institucional 2022-2024 del CICESE, publicado el 3 de agosto de 2022 en el Diario Oficial de la Federación, establece cinco objetivos prioritarios; los dos primeros, referidos a la investigación, con énfasis en fortalecer las capacidades de los grupos de investigación para formar recursos humanos en la frontera del conocimiento y así impulsar soluciones a los retos del país en el ámbito de la salud, alimentación, energía, agua y fenómenos y desastres naturales, en beneficio del ambiente y de la sociedad.

Hoy más que nunca, establece el programa, la investigación científica debe estar al servicio de la sociedad y, para lograrlo, debe ser colaborativa, multidisciplinaria, inter-institucional e internacional, guiada por el esquema de la penta hélice de acción –gobierno, empresas, academia, sociedad y ambiente– propuesto por el Conacyt.

"El CICESE está listo para participar en el fortalecimiento de esta vinculación", señala el documento, ponderando el carácter multidisciplinario del centro por sus cuatro divisiones académicas y presencia en cuatro estados del país: Baja California, Nuevo León, Nayarit y Baja California Sur.

A lo largo de cinco décadas, el CICESE ha contribuido a la comprensión y atención de problemas regionales: monitoreo sísmico y geológico, productores acuícolas y agrícolas, temas de salud –como el reciente apoyo en la realización de pruebas y el resguardo de vacunas para enfrentar la pandemia covid-19–, así como algunos de los grandes problemas nacionales como agua, medio ambiente, investigación y participación en iniciativas para conservar las áreas naturales, y de alcance global como cambio climático, desarrollo sustentable, energías alternativas, manejo de datos masivos (*big data*), ciencias ómicas y bioinformática.

*Integrante del Departamento de Comunicación.







Ciencias del mar

► De las costas a los mares mexicanos: 50 años de travesía oceanográfica

Karla Navarro Lugo*

Un instante en interacción con el mar será suficiente para abrir paso a un caudal de preguntas: ¿Cómo se produce el oleaje? ¿Cuál es la temperatura del mar? ¿Qué especies habitan en las profundidades? ¿Cuál es la salinidad de un sitio? ¿Cómo cambian las corrientes a lo largo del año?

Pero, ¿de qué tamaño puede ser la búsqueda de respuestas? En 2015, por primera vez en la historia de la ciencia en México, fue del tamaño de 100 especialistas, 10 instituciones académicas y mil 500 millones de pesos.

Desde ese año, el CICESE se inscribió en la historia como líder del CIGoM, un megaproyecto parteaguas para la oceanografía de nuestro país por los recursos humanos y económicos que se le destinaron —y se le siguen destinando— y sus ambiciosos objetivos científicos.

¿Cuál será el impacto en el ecosistema marino si ocurre un derrame de hidrocarburos en el Golfo de México? ¿Cuál debe ser la respuesta ante una contingencia ambiental de este tipo? Estas fueron las preguntas sobre las que se gestó el CIGoM.

La alineación institucional y de recursos públicos que demanda responder con información científica estas preguntas comenzó cinco años antes del inicio formal del CIGoM, en 2010, cuando ocurrió en el corazón del Golfo de México el derrame petrolero de la plataforma *Deepwater Horizon*, perteneciente a la empresa *British Petroleum*.

“Despertamos a la realidad de que no entendemos lo que pasa en el golfo. Ninguno de los modelos podía descifrar a dónde iba el crudo. De hecho, 25 por ciento de ese petróleo derramado no se sabe actualmente dónde está”, reflexionó en 2015 el doctor Juan Carlos Herguera, investigador del CICESE y responsable técnico del CIGoM.

En respuesta, el consorcio se diseñó bajo cinco líneas de acción: plataformas de observación oceanográfica; línea base y monitoreo ambiental; modelos numéricos y de circulación biogeoquímica; degradación natural de hidrocarburos, y análisis de escenarios de derrames. Todas tenían como responsable a una investigadora o investigador del CICESE.



La creación del consorcio, financiado con recursos procedentes del Fondo Sectorial de Sener-Conacyt-Hidrocarburos, se desprende del proyecto “Implementación de redes de observaciones oceanográficas (físicas, geoquímicas, ecológicas) para la generación de escenarios ante posibles contingencias relacionadas a la exploración y producción de hidrocarburos en aguas profundas del Golfo de México”.

A lo largo de su desarrollo, además de logros y entregables, el CIGoM integró la colaboración de 16 instituciones nacionales y nueve internacionales que aportaron especialistas de diversas disciplinas hasta agrupar, en total, a más de 300 investigadores, estudiantes y técnicos.

Para 2020, el equipo de especialistas contaba entre sus logros una aproximación para conocer la vulnerabilidad ecológica de 11 regiones marinas del golfo, conocimiento indispensable para saber cómo actuar en caso de que se presente otro —indeseable, pero posible— derrame de hidrocarburos.

Un año después, en 2021, como resultado de seis años de investigación se publicó el *Atlas de línea base ambiental del Golfo de México*, integrado por 11 tomos y más de mil 300 mapas, editado en impreso y digital; un documento público y comprensible para lectores no especializados.

El conocimiento contenido en el atlas, valioso por sí mismo, tiene además la ventaja de sus potenciales aplicaciones para sectores como el energético, pesquero, de transporte, clima, conservación, investigación y protección civil.

Los resultados ofrecidos por el CIGoM le valieron, en 2022, una ampliación de 18 meses y 138 millones de pesos para continuar con observaciones en tiempo real de variables meteorológicas y oceanográficas, desarrollar modelos de pronóstico y un protocolo de atención a las labores de contención de posibles derrames de hidrocarburos en el Golfo de México. El megaproyecto continúa.

El Golfo de México antes del CIGoM

Como se puede intuir, el liderazgo del proyecto oceanográfico más grande en la historia del país no se obtiene de la noche a la mañana. Para que el CICESE se posicionara como institución experta en estudios oceanográficos del Golfo de México, al CIGoM lo antecedieron los proyectos Canek, Xiximi y Metoceánico.

A mediados de los años 90, seis investigadores del Departamento de Oceanografía Física comenzaron a construir el liderazgo oceanográfico del CICESE en el Golfo de México con un trabajo científico inédito: revelar el comportamiento del sistema de corrientes del Canal de Yucatán y el intercambio de aguas entre el Golfo de México y el Mar Caribe.

Se trata de Canek, programa dedicado a la medición de corrientes en el Golfo de México y liderado por los investigadores Antoine Badán (†), José Luis Ochoa (†), Julio Candela (†), Julio Sheinbaum, Paula Pérez y Manuel López.

La consolidación de Canek como grupo científico destacado en el estudio de la corrientometría profunda del Golfo de México, los cruceros Xiximi financiados por el Instituto Nacional de Ecología, la Conabio y el Conacyt, en 2011 y 2012, y el proyecto integral de mediciones oceanográficas (Metoceánico), que hizo coyuntura con la necesidad de Petróleos Mexicanos (Pemex) de excavar pozos a mayor calado en busca del hidrocarburo, permitió afianzar el liderazgo del CICESE en aquella provincia oceanográfica.



El Golfo y la Corriente de California

Casi de forma simultánea al inicio de Canek, en 1997 el CICESE intensificaba sus investigaciones en otras regiones a las que ha dedicado especial atención: el Golfo de California y el Pacífico, en la península de Baja California.

En sus inicios, la investigación del CICESE en el Golfo de California consistió en aportaciones a los programas Cibcasio y Calcofi, liderados por el Instituto de Oceanografía Scripps.

Con la experiencia ganada y el impulso que significó la adquisición del buque oceanográfico *Francisco de Ulloa*, en 1997 comenzó el programa Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California (Imecocal).

Imecocal nació como una extensión de Calcofi en territorio mexicano (*mexican Calcofi*, lo llamarían en los preparativos) y se ha dedicado al estudio de procesos físicos, químicos y biológicos de la Corriente de California en la península de Baja California.

Timothy Baumgartner McBride, investigador del Departamento de Oceanografía Biológica del CICESE, fue uno de los principales impulsores de esta iniciativa en la que participan también el Címar, el Cibnor, la UNAM y la UABC.

“Lo que hace Imecocal es una cosa muy inteligente. El acierto es que toma lo trabajado por Calcofi anteriormente, cuando Calcofi trabajaba en Baja California. Entonces le sigue: a los puntos que cubría Calcofi, Imecocal iba”, describió el doctor José Gómez Valdez, investigador del Departamento de Oceanografía Física del CICESE y participante de Imecocal.

Para la doctora Bertha Lavaniegos Espejo, investigadora del CICESE e integrante del comité científico de Imecocal, la integración de datos de este programa con los de Calcofi y otros programas dedicados al estudio de la parte norte de la Corriente de California, ha **“producido descripciones espectaculares del estado del ecosistema y se han resaltado las características regionales”**.

Los proyectos en el Pacífico, el Golfo de California y el Golfo de México demostraban que el CICESE alcanzaba un punto de madurez en la investigación oceanográfica a la que no llegó de forma fortuita sino con años —décadas— de estudios.

Sueños de aventura en el mar

El inicio de la investigación oceanográfica del CICESE se remonta a la propia fundación de este centro de investigación. Eran los primeros años de la década de 1970 y, aunque ahora sea difícil de concebir, la ciencia de lo que años después sería el centro Conacyt más grande del país se desarrollaba desde un modesto local comercial.

Allí, sobre la avenida Gastélum de la pequeña ciudad de Ensenada, Baja California, una pared de cristal revelaba hacia la incipiente urbe al joven Nicolás Grijalva trabajando en los primeros proyectos oceanográficos del CICESE.

“Estudios oceanográficos en aguas adyacentes al territorio nacional” se nombró el primer proyecto del CICESE, que fue codirigido, en convenio con el Instituto de Geofísica de la UNAM, por Nicolás Grijalva Ortiz y María Luisa Argote Espinoza, quien en ese momento era parte del IIO de la UABC.



▶ María Luis Argote, pionera en la investigación oceanográfica.

“Académicamente, Grijalva era una persona muy respetable... fue uno de los pioneros en modelación numérica, trabajaba como investigador de Scripps y para ese entonces el único doctor en oceanografía mexicano era Grijalva, entonces... yo le entré”, relató la doctora Argote sobre ese primer proyecto.

María Luisa Argote, quien después se convirtió en investigadora del CICESE y la primera mujer en asumir la dirección de la División de Oceanología, describió que en aquel periodo “la oceanografía en México no eran más que sueños de aventura en el mar”.

Esos sueños impulsaron la búsqueda de respuestas científicas a las preguntas más elementales sobre los océanos: se desarrollaron estudios sobre mecanismos de generación de oleaje, surgencias costeras y mareas en Baja California; también se hicieron estudios sobre procesos litorales en playas aledañas a Ensenada, de sedimentos laminados en el Golfo de California y de pastos marinos en lagunas costeras.

Para 1986, con 13 años de trayectoria, el CICESE se incorporó al Sistema Internacional de Alarma de Tsunamis y al Sistema de Alerta de Tsunamis del Pacífico; un año después creó el Sistema Regional de Alarma de Tsunamis para la costa Oeste la Península de Baja California.

En esa misma década se continuaron los estudios hidrodinámicos en los cuerpos de agua costeros de Ensenada, La Paz, Bahía San Quintín, Estero de Punta Banda y Bahía Todos Santos, y se mantuvo operando la red de estaciones mareográficas cuya instalación inició en el Golfo de California el propio Nicolás Grijalva.

Instrumentos y buques

La fase naciente del CICESE y de los estudios oceanográficos se desarrolló con muchas carencias, escasez de recursos y equipamiento, que fueron compensados con voluntad, talento y entusiasmo de quienes se convertirían en pioneros de este centro de investigación y de la oceanografía en México.

Para que esta situación cambiara, además de recursos, se requirió el compromiso con la adquisición de instrumentos y equipamiento de vanguardia.

“Hemos estado atentos a lo nuevo y nos adaptamos casi inmediatamente, producto de una interacción internacional constante. Además, es la investigación misma la que dice ‘con estos instrumentos hasta aquí sé, si quiero saber más de este proceso, de este fenómeno, entonces necesito otro tipo de instrumentos”, apunta José Gómez.

Las primeras evidencias del rol de la instrumentación en la investigación oceanográfica se encuentran en la digitalización de instrumentos de medición mecánicos y en la incorporación de satélites para la observación y generación de datos.



Uno de los saltos más significativos se dio con la adquisición del B/O *Francisco de Ulloa*. Previo a la compra del *Ulloa*, la investigación en oceanografía se hacía con embarcaciones de la Secretaría de Marina o contratando tiempo de *El Puma*, uno de los buques oceanográficos de la UNAM.

Tras dos años de adecuaciones y equipamiento, en noviembre de 1993 el *Francisco de Ulloa* realizó su primer crucero científico, un logro en el que fue pieza clave el M en C José María Robles Pacheco, hoy investigador retirado del Departamento de Oceanografía Física.

En 2013, después de 20 años y 300 campañas oceanográficas, la embarcación de 28 metros de eslora (largo), siete de manga (ancho) y desplazamiento de 222 toneladas, que se construyó en Ensenada en la década de 1980, concluyó sus operaciones.

Mientras el *Ulloa* se jubilaba, paralelamente comenzaba la adaptación y remozamiento de su relevo: el buque oceanográfico *Alpha Helix*, abanderado el 30 de enero de 2015 con Ensenada como puerto base.

“Con el barco mides muchas variables en todas las áreas de la oceanografía: la física, química, la biología, la geología. Es insustituible para poder medir y conocer cómo funciona el océano en todas sus componentes”, destacó, en los días previos al abanderamiento, el doctor Guido Marinone, investigador y entonces director de la División de Oceanología del CICESE.

Pero el *Alpha Helix* no se convirtió solamente en el remplazo del *Francisco de Ulloa*, sino en una ampliación de capacidades: es 12 metros más largo, alberga casi el doble del personal científico, tiene 10 días más de autonomía y es más rápido.

Sus capacidades y el aumento de investigaciones en el Golfo de México resultaron, en noviembre de 2022, en un cambio de puerto base para el *Alpha Helix*: de Ensenada a Tuxpan, Veracruz. Desde ahí continúa prestando sus servicios a la investigación científica oceanográfica del CICESE y del país.

Aunado a la adquisición y adaptación de los buques oceanográficos, el CICESE tuvo otro de sus hitos en instrumentación oceanográfica a través del CIGoM, proyecto que puso en marcha al Grupo de Monitoreo Oceanográfico con Gliders (GMOG).

El GMOG se dedica desde 2016 a monitorear de forma remota variables físicas y biogeoquímicas del Golfo de México mediante el uso de *gliders*, vehículos autónomos sumergibles y teledirigidos.



Su uso y adaptación, así como la integración de un simulador virtual de *gliders*, fue uno de los primeros objetivos comprometidos y cumplidos del CIGoM, ya que el monitoreo de las condiciones oceanográficas se consideró indispensable para delinear las estrategias de respuesta y mitigación ante un posible derrame de hidrocarburos.



Cinco décadas

Con 50 años de experiencias, la travesía oceanográfica del CICESE en los mares mexicanos continúa para dar respuesta a nuevas y muy variadas preguntas, y para seguir observando aquellos sitios donde el conocimiento se ha profundizado.

A diferencia de sus modestos inicios, ahora la oceanografía la desarrolla el CICESE con sofisticados instrumentos, tecnologías y con colaboración internacional e interdisciplinaria.

Sin embargo, tras cinco décadas de evolución, sigue presente el objetivo de investigar los mares mexicanos para aportar a la ciencia, a la conservación de los océanos y al desarrollo de las comunidades en nuestro país.

*Integrante del Departamento de Comunicación.



Mujeres a bordo

La compra del buque oceanográfico *Francisco de Ulloa*, a principios de la década de 1990, se tradujo en un impulso a las investigaciones oceanográficas, pero también en un incentivo para que más mujeres participaran en cruceros científicos.

Carolina Morales, quien fue estudiante de maestría y técnico del CICESE, recordó su experiencia con la *Sirius*, una embarcación menor disponible antes del *Ulloa*, en la que técnicos y estudiantes salían a hacer trabajo de campo para conocer la hidrografía de la bahía de Ensenada y la zona costera entre Salsipuedes y Santo Tomás.

“Íbamos en una lanchita, la *Sirius*, que afortunadamente se hundió. Era una lancha muy pequeña, con muy pocas horas de autonomía y sumamente incómoda para trabajar”, narró Carolina.

María Luisa Argote cuenta que al principio en el CICESE “lo único que teníamos era una lanchita, botellas, un corrientímetro (que se perdió en una de tantas), un salinómetro y lo más que nos podíamos aventurar era desde Salsipuedes hasta Punta Banda”.

A la falta de embarcaciones apropiadas se sumó la creencia de que realizar trabajo de campo en el mar implicaba cumplir con características físicas atribuidas exclusivamente al género masculino.

“No invitaban a muchas mujeres por ese asunto de que son trabajos fuertes, de que en el mar están los mareos y hay que bajar y subir pesos, que hay que agarrar aros pesados, que hay que agarrar instrumentos pesados”, refirió José Gómez.

Para demostrar la igualdad de capacidades en los cruceros, las oceanógrafas sólo necesitaban una oportunidad y la crearon con el buque *Francisco de Ulloa*, diseñado y equipado para equipos científicos integrados por hombres y mujeres.

“Al verlas ya trabajando —narra José Gómez— todo mundo empezó a decir ‘pues no es cierto esto de que ellas no pueden manejar el oleaje en el mar, la corriente, los vientos fuertes, las mareadas, igual que nosotros; que ellas no pueden levantar algunos pesos, manejar instrumentos, también es falso’”.

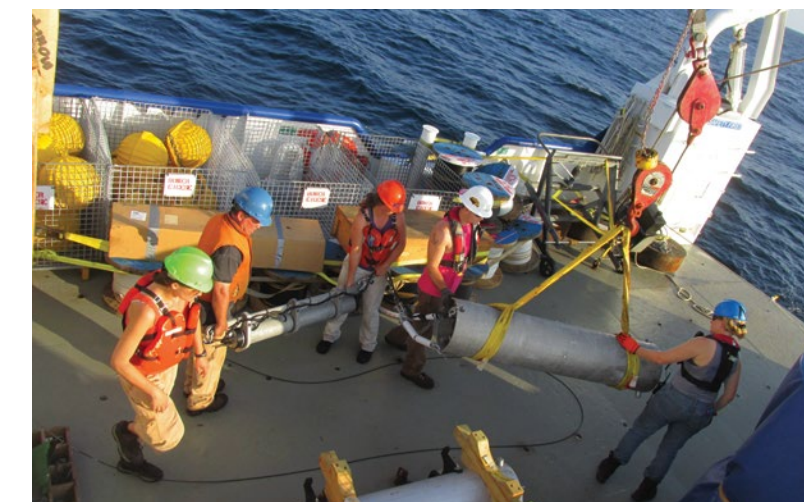
Después de 13 años navegando con el CICESE, en 2006 el *Ulloa* no tuvo solo a mujeres en los equipos científicos sino a una mujer encabezando la tripulación, la capitana Jesús Mercedes Barrera Domínguez.

En diciembre de 2005, el *Ulloa* se quedó sin capitán. Estando en Mazatlán, Sinaloa, la piloto naval Mercedes Barrera se enteró e interesó por la vacante.

Debido a que ya había cruceros comprometidos, no hubo oportunidad de publicar convocatoria y para el 8 de febrero de 2006 la capitana Mercedes navegó su primer crucero científico en el *Francisco de Ulloa*; salió de Ensenada con destino al puerto de San Carlos, Baja California Sur.

Joaquín García, entonces jefe del Departamento de Embarcaciones Oceanográficas del CICESE, cuenta que Mercedes navegó un total de 132 días, entre traslados y 17 cruceros oceanográficos, cuyas áreas de estudio fueron la costa oeste de Baja California, el Golfo de California y el Pacífico Tropical Mexicano.

“Desafortunadamente nos dejó la chamba durante el periodo vacacional de diciembre de 2006, por cuestiones familiares”, recordó Joaquín.



Por lo menos en lo que me ha tocado a mí son pocas y hay mujeres que tienen las bases en electrónica y telecomunicaciones para hacer este tipo de trabajo, pero yo no he visto a muchas mujeres involucradas. Creo que deberíamos poder estar representadas en todas las áreas”, expresó en entrevista.

Además, consideró que, a diferencia de los hombres, las mujeres tienen que seguir probando y demostrando que son capaces de realizar el mismo trabajo: “las mujeres tenemos que hacer un poco más de labor de convencimiento de que somos perfectamente capaces de hacer esto como cualquier otra persona y participar en absolutamente todo lo que se tenga que hacer”.

Por su parte, la doctora Paula Pérez Brunius, investigadora del Departamento de Oceanografía Física, quien también cuenta con experiencia como jefa científica de cruceros oceanográficos, opinó que el reto actual para las mujeres se presenta cuando deciden convertirse en madres de familia y continuar desarrollando su profesión.

“Si tú decides tener hijos las cosas cambian por completo —afirmó—, porque todavía no está diseñado el sistema para que sea de forma igualitaria, que tanto hombres como mujeres puedan dedicarse a la crianza, y entonces la estructura de cómo va uno creciendo profesionalmente no ayuda en nada”.

Con los desafíos superados y los que faltan por sortear, las mujeres en la oceanografía han demostrado, desde el inicio del CICESE, que la inequidad es una condición injustificada.

En un texto conmemorativo del 20 aniversario del CICESE, en 1993, Carolina Morales reflexionó: “Al ser técnico de un centro de investigación y ser mujer, la única diferencia es al momento de cargar equipo pesado; los hombres pueden más porque son más fuertes... pero el trabajo de investigación es el mismo”.

Karla Navarro ◀



Desafíos que se transforman

Gracias a las mujeres que desde la década de 1970 sortearon todos los obstáculos para desarrollarse en el campo de la oceanografía, la participación femenina evolucionó hasta contar en el CICESE con jefas científicas de cruceros.

No obstante, las especialistas en oceanografía de la actualidad no están exentas de encontrarse con condiciones desiguales para desenvolverse profesionalmente.

Para la doctora Sharon Herzka Llona, investigadora del Departamento de Oceanografía Biológica, quien en cuatro ocasiones ha sido jefa de cruceros científicos, aunque la participación de las mujeres en la oceanografía va en aumento, todavía hay temas pendientes.

“Me gustaría que incorporemos a los grupos de trabajo a más mujeres que estén haciendo la parte del manejo del equipo oceanográfico y la electrónica.

► Estudios del clima

Stephannie Lozano Murillo*

Debido a la actividad industrial, el cambio climático se convirtió en la gran amenaza del siglo XXI para la humanidad. De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Cambio Climático de las Naciones Unidas (IPCC, en inglés), las últimas tres décadas han sido las más calurosas desde 1850.

Desafortunadamente, los huracanes, las lluvias intensas, las sequías y otros eventos extremos provocados por el incremento de un grado centígrado que enfrenta actualmente el planeta, son cada vez más frecuentes.

La complejidad de las fluctuaciones de la temperatura del mar y las precipitaciones ha llevado a la comunidad científica a estudiar el sistema climático desde un panorama amplio para conocer con más precisión su trayectoria. En el CICESE, el estudio del clima se convirtió en un área interdisciplinaria.

Primero se volteó al pasado. Así como se determina la edad de un árbol por el total de anillos de su tronco, también puede inferirse el clima antiguo (de miles de años) del planeta a partir del carbón acumulado en el fondo marino. A esto se le conoce como paleoclimatología, una disciplina bien estudiada en los años 90 por el doctor Juan Carlos Herguera, del Departamento de Ecología Marina.

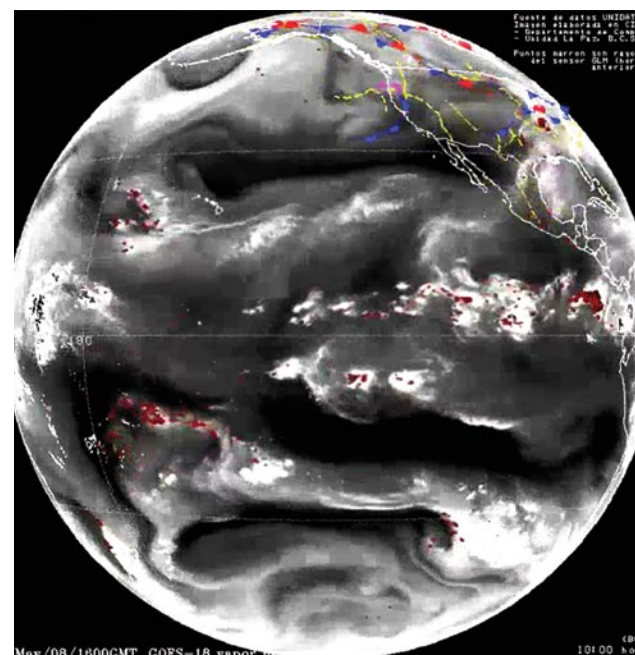
También en esos años los investigadores del Departamento de Oceanografía Física del CICESE empezaron a medir y analizar la variabilidad climática desde el nivel regional hasta el internacional, con énfasis en los fenómenos de *El Niño* y *La Niña* y el monzón de Norteamérica.

Entonces era más preciso determinar el comportamiento del clima en la región de Baja California a partir de *El Niño* y *La Niña*. Si las observaciones de temperatura superficial del mar, modelos numéricos y los pronósticos indicaban que el año sería *Niño* significaba que llegarían lluvias abundantes durante el invierno, mientras que un año *Niña* tendría baja precipitación.

Así, los modelos globales del clima se convirtieron en herramientas de análisis. Sin embargo, actualmente las fronteras que relacionan este fenómeno global con la precipitación regional se han ido desdibujando.

“Tenemos modelos realistas, aunque no perfectos, para saber cómo va a ser el clima en el futuro”, aseguró el investigador Cuauhtémoc Turrent. Sin embargo, la temporada de lluvias 2022 – 2023 en Baja California fue inusual: un año *Niña* con lluvias aisladas e intensas.

Las estaciones meteorológicas del CICESE, ubicadas en Ensenada, durante esta temporada registraron 140.3 mm de lluvia en enero, de los cuales, 73% precipitó en solo cuatro días. Esta alteración de la lluvia causa problemas en las zonas urbanas, como inundaciones, accidentes y deslizamientos de tierra.



El investigador Thomas Kretzschmar, del Departamento de Geología, explicó que durante la temporada mencionada se registró un total de 220 mm de lluvia, cantidad que estuvo cerca del promedio anual de precipitación para Ensenada (de 250 mm); sin embargo, fue insuficiente para contrarrestar la sequía.

En la vida del CICESE, uno de los retos principales fue pasar de los modelos estadísticos a modelos numéricos más completos para analizar el fenómeno de *El Niño*. Este reto, en parte, se enfrentó analizando la temperatura superficial del aire y la precipitación de todo México; es decir, relacionando variables atmosféricas y oceánicas globales.

En ese sentido, en 2012 destacó la transición del modelo predictivo estacional denominado CICESE I, al modelo CICESE II, que permitió realizar pronósticos a mediano plazo. Esto se dio a través del trabajo de doctorado de Ramón Fuentes Franco, bajo la dirección de los doctores Federico Graef y Edgar Pavía.

En complemento, desde la Unidad La Paz del CICESE, el doctor Luis Farfán utiliza modelos numéricos que abarcan de Centroamérica hasta cerca de Canadá para conocer la acumulación de lluvia. De esta forma, ha trascendido la colaboración con el Servicio Meteorológico Nacional para dar seguimiento a las temporadas de huracanes del Pacífico mexicano.

Otras colaboraciones relevantes se han realizado por el equipo que coordina la doctora Tereza Cavazos Pérez. Destacan el desarrollo de escenarios de cambio climático para México en colaboración con el Colef, UABC, IMTA y UNAM, así como proyectos apoyados por el gobierno de Baja California, (en su momento) el Conacyt, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y la Red de Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos y Climáticos (Redesclim) del Conacyt. Estos proyectos se caracterizan por crear un puente que vincula a la academia con los sectores de gobierno y económicos.

Además, Cavazos coordinó en 2012 el Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Baja California (PEACC-BC), así como el proyecto de Aptitud Actual y Futura de la Vitivinicultura de Baja California, apoyado por el INECC como parte de una iniciativa del Senado de la República.

“Nosotros empezamos a estudiar esto (los cambios del clima) hace más de 20 años y en ese entonces hablábamos del futuro próximo: 2025. Ahora eso está a la vuelta de la esquina”, mencionó Pavía, “se necesita medir los impactos porque lo que no medimos hoy, ya no lo sabremos nunca”.

Y agregó: “Si los escenarios de cambio climático (incrementos de 1.5, 2.0 y 2.5 grados centígrados) se presentan como creemos y hemos pronosticado, nos arrojan que habrá una gran sequía en la región del sur de México y Centroamérica. Las condiciones sociales adversas van a provocar una migración humana mucho más grande de la que vemos ahora”.

*Coordinadora del Departamento de Comunicación.



► Tras la huella del gran tiburón blanco

Jazmín Félix García*

Corpulento, de afilados dientes y eterna sonrisa, el tiburón blanco (*Carcharodon carcharias*) habita en las aguas templadas de las costas de Baja California, aunque también lo hace en aguas frías, ya que tiene la capacidad de crear calor a partir de su propio organismo.

Según la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp), esta magnífica especie puede llegar a medir seis metros de largo y pesar hasta 3 mil 600 kilos. Se alimenta de rayas, focas, delfines, elefantes marinos, leones marinos, y hasta crustáceos.

Temido por los humanos debido a la estigmatización construida a su alrededor, el tiburón blanco es solitario y poco comprendido. Es el único que sobrevive en su género (*Carcharodon*, familia Lamnidae), además de ser una especie vulnerable. Se encuentra en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). En México está incluido en la NOM-059-SEMARNAT-2010 como especie amenazada y su captura está prohibida, mientras que su avistamiento en jaula en la Isla Guadalupe es ilegal desde 2022.



Las principales amenazas a esta especie provienen de acciones humanas, como la pesca directa e incidental, la baja abundancia de sus presas, la pesca comercial y deportiva, entre otros. La Conanp refiere que en el mercado el conjunto de aleta dorsal y dos pectorales de este animal pueden venderse en 10 mil dólares. El precio de su mandíbula se incrementa, llegando a costar incluso 50 mil dólares.

Hasta hace unos años se sabía poco del gran tiburón blanco, pues su estudio es complejo por su gran tamaño y movilidad. El CICESE es una de las instituciones que desde 2002 realiza investigación para conocer sus hábitos e importancia biológica en la Reserva de la Biósfera Isla Guadalupe (RBIG), ubicada a 260 kilómetros de la costa de la península de Baja California

El CICESE empezó a estudiar a este animal con el hallazgo y el análisis de 31 mil 861 cabezas de 25 especies marinas recolectadas durante dos años de vertederos ubicados en Guerrero Negro, Baja California Sur. De esas 31 mil, 76 fueron cabezas de tiburón blanco.

Fue hasta 2008 cuando el CICESE comenzó a investigar a la especie por solicitud de la Conanp, año en que la RBIG, una de las principales zonas de agregación del tiburón blanco, solicitó un estudio base para el monitoreo de la especie.



A través de experimentos de marcaje satelital y telemetría acústica se siguió satelitalmente a los tiburones y se identificaron sus movimientos en las temporadas del año, además de los comportamientos de machos y hembras a lo largo de su desarrollo. Este experimento permitió producir mapas de distribución de la especie y conocer el momento en que los tiburones entraban y salían de la zona.

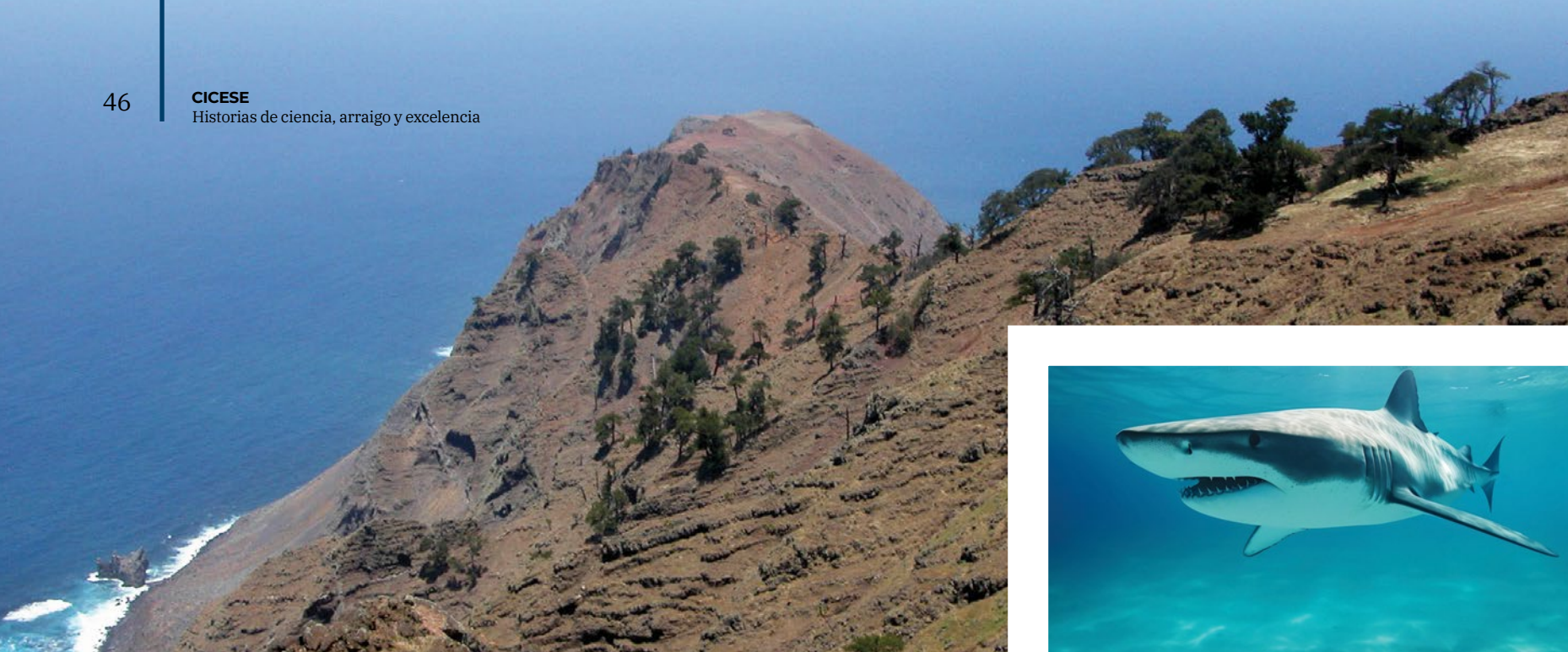
En 2011 el centro hizo otra gran aportación, la mayor en la investigación del tiburón blanco, de acuerdo al doctor Oscar Sosa, investigador del Departamento de Oceanografía Biológica. Sosa y el equipo de especialistas del Laboratorio de Ecología Pesquera del CICESE realizaron el estudio *Establecimiento de la línea base para el monitoreo de la distribución y abundancia del tiburón blanco en el área marina de la RBIG*, fundamental para robustecer el conocimiento sobre la especie en la reserva.

Este estudio buscaba entender si el avistamiento de tiburones y la presencia de embarcaciones tenían efecto en el comportamiento de la especie, mediante observaciones desde tierra y entrevistas a pescadores. El grupo de investigadores identificó que los tiburones que interactuaban con navíos presentaron una conducta de acecho y ataque, similar al estímulo de la carnada, aunque no se presentó ningún ataque durante el monitoreo. Gracias a estos resultados el CICESE hizo recomendaciones sobre la cantidad de permisos para la presencia de barcos ecoturistas y de pesca en la isla.

Dos años después, en 2013, investigadores del CICESE estuvieron al frente de un grupo de trabajo para crear el *Plan de acción para la conservación de la especie tiburón blanco*. En 2015 se publicó el *Manual de buenas prácticas para la observación del tiburón blanco* de la Conanp, resultado de las labores de monitoreo que realizó el centro.

Producto de estos estudios, se descubrió que Isla de Guadalupe es un sitio preferido por tiburones blancos adultos.





A la par de los experimentos en la RBIG, el centro comenzó a realizar experimentos en otras zonas habitadas por la especie.

Fue entonces, en 2017, cuando ocurrió otro importante hallazgo: el CICESE, un grupo del Instituto de Investigación del Acuario de la Bahía de Monterey y de la Universidad Estatal de California, descubrieron, mediante capturas incidentales y la identificación de organismos juveniles, que las aguas de la Bahía de Sebastián Vizcaíno eran área de crianza de la especie, donde se alimentaban y desarrollaban para luego desplazarse.

Este descubrimiento aportó para tener una comprensión más profunda sobre el gran tiburón blanco, el pez feroz y solitario que habita aguas tibias y cuyo halo de misterio el CICESE ha contribuido poco a poco a esclarecer.

*Integrante del Departamento de Comunicación.



“

Una hielera grande y olorosa

Por allá de 2002, mientras caminaba por el ejido Villa Jesús María, perteneciente al municipio de San Quintín, Baja California, John O´Sullivan, biólogo del Instituto de Investigación del Acuario de la Bahía de Monterey, en California, y gran amigo de Oscar Sosa, hizo un interesante hallazgo en los basureros de un campo pesquero y se apresuró a recolectarlo.

Telefonó a Sosa Nishizaki para contarle sobre lo encontrado y ambos se reunieron. O´Sullivan llegó emocionado con Sosa. En los brazos cargaba una hielera grande y apestosa, y al destaparla se develó lo que sería el comienzo de un análisis de dos años: eran diez cabezas de tiburón blanco.

Pescadores de Villa Jesús María, tras tomar lo requerido de los tiburones, se deshacían de las cabezas porque temían que si las arrojaban al mar, los animales se hallarían los cadáveres de su especie y se espantarían. Lo que fueron restos indeseados, para los investigadores fue material que debía aprovecharse para descubrir más sobre el tiburón blanco.

Producto del análisis de 31 mil 861 cabezas pertenecientes a 25 peces cartilaginosos, de las cuales 17 fueron de especies de tiburones y 76 de tiburón blanco, se realizaron trabajos de tesis, que descubrieron que no solamente eran tiburones adultos los que habitaban aguas de Bahía Vizcaíno, sino también juveniles.

Jazmín Félix García

Ciencias físicas

► Consolidación de las ciencias físicas en el CICESE: los años noventa

Roberto Ulises Cruz Aguirre*

A principios de los noventa, el CICESE no había cumplido ni 20 años desde su fundación. El Dr. Mario Martínez García acababa de asumir la dirección general un año antes, en 1989. La plantilla de investigadores no llegaba a 100; en el campus, parte baja, había tres edificios y aún permanecían trabajando algunos grupos en las instalaciones rentadas de la avenida Espinoza, en el centro de Ensenada. No existía el B/O *Francisco de Ulloa*, tampoco las unidades foráneas, pero estaba gestándose la primera incubadora de empresas de base tecnológica de México, en la Ruiz y calle 17.

En ese contexto, los estudios en Física Aplicada en el CICESE se realizaban en dos departamentos académicos: el de Electrónica y Telecomunicaciones, y el de Óptica.

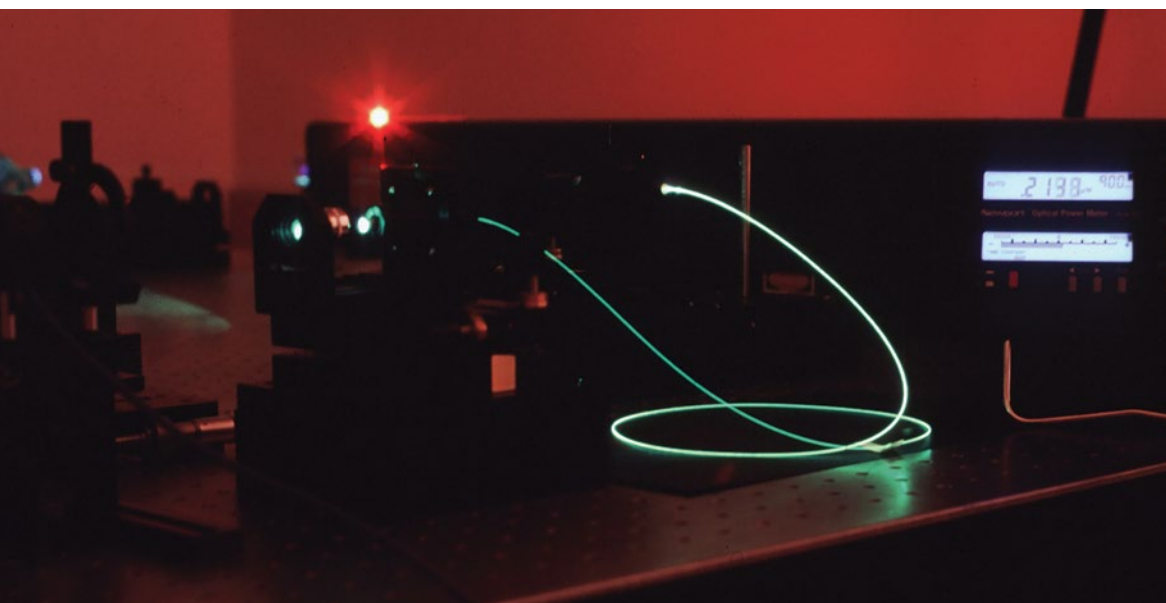
Éste se había formado hacia 1975, con la contratación de Romeo Mercado, Diana Tentori y Martín Celaya, quienes comenzaron a trabajar en instrumentación, diseño óptico, metrología óptica y holografía, temas de actualidad en ese momento. Con la contratación de más investigadores y la apertura de nuevas líneas de investigación, pudieron conseguir infraestructura y equipo competitivo a nivel internacional para laboratorios y talleres. A la maestría en Óptica, iniciada en 1976, se sumó la apertura del programa de doctorado, en 1985.

El grupo de investigación en materiales ópticos se había consolidado y hacia 1985 ya trabajaba en proyectos de investigación aplicada bajo el liderazgo de Roberto Machorro y Luis Enrique Celaya, básicamente en fabricación de vidrio óptico y de prismas polarizadores de calcita. Entonces, parte de este grupo se separó del CICESE y formó dos empresas: Augen Optics y Calipo. Esta salida de personal, aunada a los problemas económicos del país (la devaluación del peso mexicano de 1983 y una paridad cambiaria fuera de control) hicieron que no solo este departamento, sino todo el CICESE, quedara atrapado en esta contracción económica.

La entrada de Electrónica y Telecomunicaciones a la década de los 90 fue quizá menos comprometida. Desde finales de los 70, una serie de proyectos exitosos les había dado identidad, prestigio y numerosos premios nacionales. El proyecto de la Red de Telefonía Rural para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) detonó el desarrollo de las telecomunicaciones y microondas en el CICESE; se consolidó a principios de los 80 al habilitar el laboratorio de altas frecuencias mejor equipado en el país; se colaboró con la SCT en la especificación de los satélites Morelos I y II; se ayudó en el diseño, especificación e implementación de varias redes de datos universitarias para su acceso inicial a internet; se diseñó un conmutador digital telefónico (quizá el primero en México) y a finales de los 80 aquí se estudiaba un tema de vanguardia: la Red Digital de Servicios Integrados.

En ese contexto académico la División de Física Aplicada llegó a los años 90, una década que marcó su desarrollo. Entre 1990 y 1995, en el Departamento de Óptica se contrataron 10 investigadores aprovechando los programas de Repatriación y de Cátedras Patrimoniales de Excelencia del Conacyt, y a través de proyectos de infraestructura se compraron equipos de primer nivel. Esto permitió ampliar y actualizar las líneas de investigación, reforzando además el posgrado, como bien apuntan Héctor Escamilla y Eugenio Méndez en su texto “La ciencia de la luz”, del libro *CICESE: Los primeros 40 años* (2013), del cual rescatamos las siguientes citas.

“Se formó un grupo de investigación en guías de onda ópticas y sensores de fibra óptica. Asimismo, se abrió una línea de investigación en láseres y amplificadores de fibra óptica dopada con erbio. Se iniciaron proyectos de investigación en óptica no lineal y láseres pulsados, y se abrieron líneas de investigación en óptica integrada y procesamiento digital de imágenes.”



“En 1996, con la colaboración de varios investigadores del Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones del CICESE, se creó una opción en Optoelectrónica dentro del programa de maestría en Óptica. Esta opción se abrió como una alternativa más conveniente para los graduados de las licenciaturas de ingeniería electrónica con interés en las aplicaciones de la optoelectrónica. El programa de maestría, que ya había sido reestructurado, se continuó impartiendo como una opción en óptica física.”

“En la transición que vivió el departamento a principios de los años 90 hubo, además, cambios en la organización interna. Los proyectos pasaron de ser proyectos individuales a proyectos con varios investigadores y el énfasis cambió de proyectos aplicados a proyectos de investigación más básica o fundamental”.

Mientras lo anterior pasaba en Óptica, en el Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones también hubo varias contrataciones debido a que los investigadores con maestría aprovecharon una política del Conacyt que incentivó que salieran a cursar sus doctorados.

Según explica Horacio Soto en su texto “Telecomunicaciones: cuatro décadas de orgullo y liderazgo” publicado en el libro citado, fue esta “nueva oleada de investigadores” lo que permitió cultivar las comunicaciones ópticas en el grupo de telecomunicaciones, y la caracterización de componentes y las técnicas de calibración en el grupo de microondas.

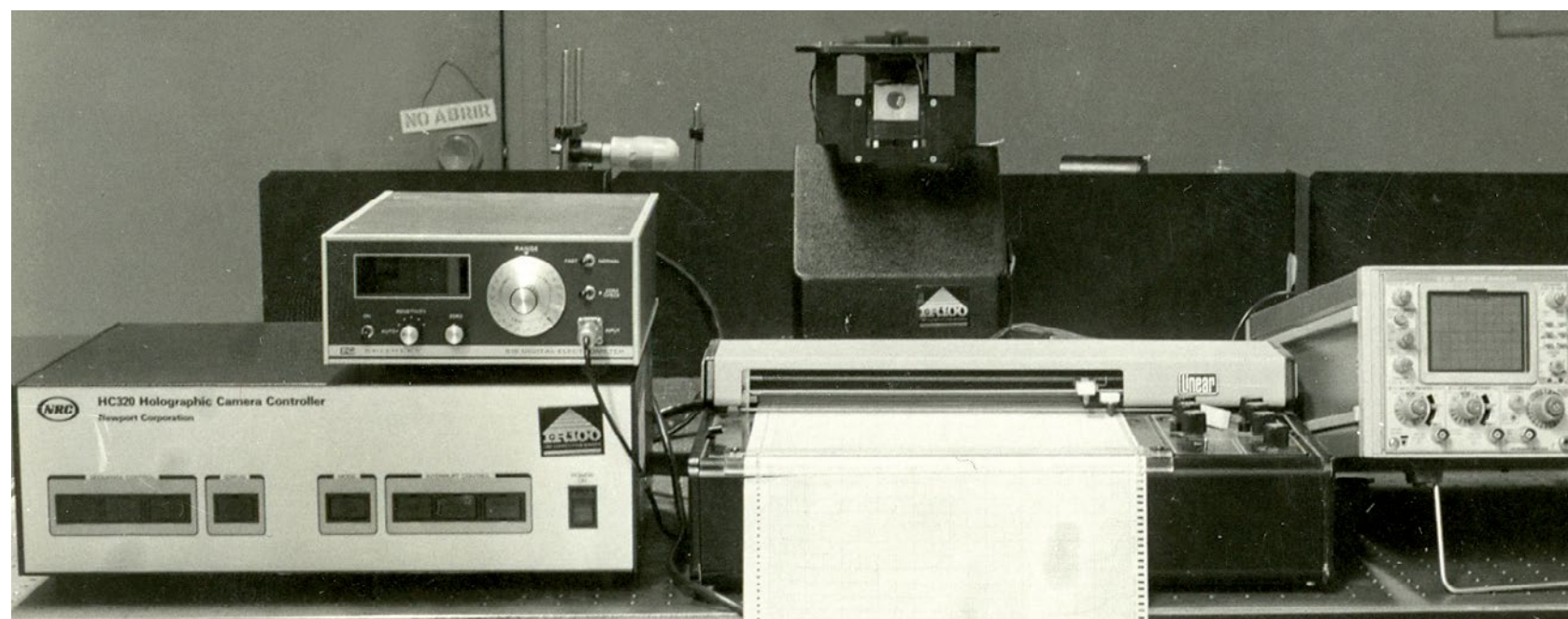
“Pronto el Laboratorio de Altas Frecuencias aumenta sus capacidades y, en 1993, mediante un convenio con el Instituto Mexicano de Comunicaciones (IMC), incrementa dramáticamente su equipamiento con fondos de la Organización de los Estados Americanos”. Así, en este laboratorio, que ya estaba a la vanguardia, comenzaron a diseñarse circuitos integrados de alta frecuencia en tecnología de arseniuro de galio, lo cual colocó al CICESE en un primer plano internacional en este campo tecnológico.

“Asimismo, entre 1990 y 1994, se colabora con la SCT a través del IMC, como con personal de la empresa TELECOMM, en la especificación de algunas de las aplicaciones del sistema de satélites Solidaridad. Por otra parte, dentro del grupo de telecomunicaciones, se crea el Laboratorio de Comunicaciones Ópticas con un gran énfasis hacia las comunicaciones coherentes. En este laboratorio se diseñó y construyó, a partir de 1996, la estación terrena de enlace óptico bidireccional y la carga útil del satélite SATEX I para la Fundación Politécnico.

“A finales de los años 90, comienzan a reintegrarse los investigadores que iban obteniendo su doctorado y a reconfigurar los grupos de investigación. Ahora aparece, dentro de las comunicaciones ópticas, el procesamiento digital fotónico, un campo de investigación vanguardista que capta diversos recursos tanto nacionales, a partir de proyectos Conacyt, como extranjeros por medio de colaboraciones con el Instituto Federal de Tecnología de Suiza (ETH-Zurich). Lo anterior permite incrementar drásticamente el equipamiento del Laboratorio de Comunicaciones Ópticas”.



También se invirtió en infraestructura y en 1997 terminó de construirse el tercer piso del edificio de esta división académica, lo cual permitió el crecimiento de nuevos grupos de investigación (en Ciencias de la Computación, por ejemplo), y la consolidación de este laboratorio que, además, cambió de nombre al de Laboratorio de Comunicaciones Fotónicas. “Es en este laboratorio donde se observa, caracteriza y difunde, por primera vez para el mundo, el fenómeno de la modulación cruzada de la polarización (XPoIM) en guías de onda activas de semiconductor”.



El grupo de Ciencias de la Computación se venía desarrollando paralelamente en el Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones desde 1994. Para 1995, cinco investigadores ya trabajaban principalmente en computación paralela y redes neuronales, y al año siguiente incursionaron en reconocimiento de patrones y en recuperación de información en sistemas colaborativos.

El grupo académico inicial –José Luis Briseño, Jesús Favela, Hugo Hidalgo, Andrey Chernykh y Raymundo Vega– se mantuvo prácticamente igual un par de años más (con la baja de R. Vega y la contratación de Gilberto López Mariscal) hasta que en el año 2000 se conformó en el tercer departamento académico de esta división, con ocho investigadores y tres técnicos.

En el Informe Anual del CICESE de 2000 se citan seis líneas de investigación como las primeras del nuevo departamento: análisis digital de imágenes y percepción remota; estudio de metodologías digitales evolutivas aplicadas al desarrollo de un sistema fotogramétrico de corta distancia; computación paralela y distribuida; cómputo científico; inteligencia artificial, e ingeniería de procesos y software.

Pero como señala José Alberto Fernández, en su texto “Evolución vertiginosa de las ciencias computacionales”, del libro citado: “Las ciencias computacionales evolucionan a un ritmo vertiginoso, algunas líneas puntuales de investigación que se cultivaban a finales de los años 90 han desaparecido, la mayoría de las líneas de investigación han ido cambiando y se han adaptado a los cambios tecnológicos (con mayor velocidad las más aplicadas y en menor medida las más teóricas), y algunas otras se han incorporado recientemente al departamento (principalmente aquellas que en esencia son multidisciplinarias)”.

Esta revisión de lo que sucedió en la División de Física Aplicada en la década de los 90, con la contratación de nuevos investigadores y la reconfiguración de los grupos al abrirse nuevas líneas de investigación; el pasar de proyectos individuales a colectivos, y de cambiar el énfasis de proyectos aplicados a proyectos de investigación más básicos o fundamentales (en el caso de Óptica); el notable equipamiento de los laboratorios, así como la creación de un nuevo departamento académico, el reforzamiento de los programas de posgrado y el crecimiento de la infraestructura física, permite situar los años noventa como los de la consolidación de las ciencias físicas en el CICESE.

*Integrante del Departamento de Comunicación.



► El cómputo ubicuo aplicado a la salud

Jesús Favela, Ana Martínez y Mónica Tentori*

La salud es el interés principal de la computación ubicua y el CICESE ha contribuido a su desarrollo a través de la generación de conocimiento y la formación de especialistas en el área. El Laboratorio de Cómputo Móvil y Ubicuo es una unidad de investigación interdisciplinaria dedicado al diseño, desarrollo y evaluación de tecnologías de cómputo ubicuo en apoyo a la salud.

La computación ubicua, también conocida como computación ambiental, busca integrar las tecnologías de la información de manera transparente en la vida cotidiana de las personas, de tal forma que sea omnipresente.

Avances en conectividad inalámbrica, interfaces naturales, miniaturización de componentes, sensores y algoritmos para derivación de información de contexto, han hecho posible crear ambientes saturados con capacidades de cómputo, los cuales son proactivos para responder a las necesidades de los usuarios.

A través de colaboraciones con hospitales, residencias geriátricas, escuelas y centros especializados en trastornos del neurodesarrollo, investigadores y estudiantes del Departamento de Ciencias de la Computación del CICESE han realizado investigación aplicada en este campo por más de 20 años.

Entre los proyectos en apoyo al sector salud se destacan tres. El primero, enfocado en entender las características y prácticas de los trabajadores hospitalarios para apoyar sus dinámicas por medio de tecnología novedosa.

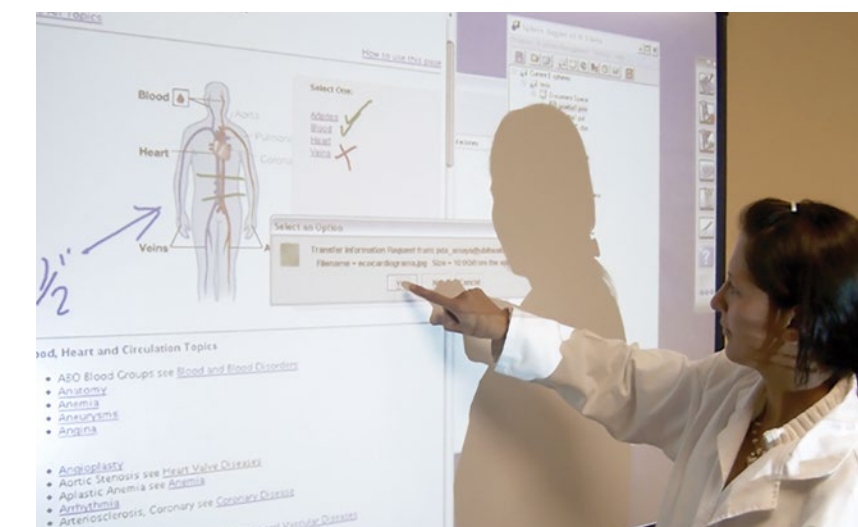
En este caso, se han realizado estudios etnográficos conducidos dentro de hospitales y con el apoyo de médicos y enfermeras como informantes. Así, se han propuesto escenarios de uso que muestran cómo la tecnología móvil y ubicua le permite al personal médico enfrentar la problemática existente en su práctica diaria.

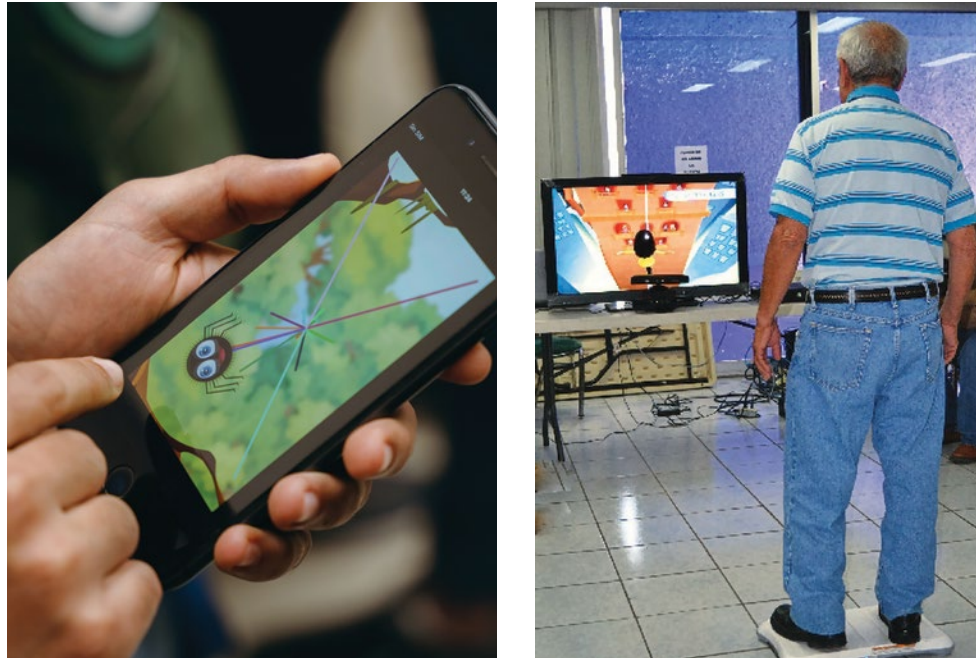
Entre las aportaciones a esta área se aplican los conceptos de computación consciente de la actividad y estudios de movilidad en hospitales, dentro del campo interacción humano-computadora; estimación de ubicación y actividad, a partir del reconocimiento de patrones; así como un *middleware* de agentes para facilitar el desarrollo de sistemas de cómputo ubicuo, del área de ingeniería de *software*, y la administración de la incertidumbre en cómputo consciente del contexto, que pertenece al campo de la inteligencia artificial.

Además de la concepción de ambientes tecnológicos, se ha trabajado en transferir la tecnología dentro del hospital y mediante estudios de adopción, identificando posibles barreras y nuevas oportunidades.

En 2007 inició una línea de investigación enfocada a fomentar el envejecimiento saludable para asistir a adultos mayores con dificultades cognitivas y a quienes cuidan de ellos.

El conocimiento adquirido y las metodologías desarrolladas en el trabajo previo en hospitales se ha aplicado en el desarrollo de tecnología que permite hacer frente a la importante problemática socioeconómica que genera el gradual envejecimiento poblacional.





A través de una colaboración multidisciplinaria y multiinstitucional con el IMSS y el Instituto Nacional de Geriátrica (ING), residencias geriátricas, así como con profesionales e investigadores de la salud, se ha realizado investigación para el cuidado de adultos mayores con problemas de demencia. Estos proyectos recibieron financiamiento del Conacyt, la *Alzheimer's Association*, *Microsoft Research* y la Unión Europea a través del programa Horizonte 2020.

Un componente importante de este trabajo es la aplicación de sensores móviles y ambientales, tales como acelerómetros, micrófonos y sensores de geolocalización para estimar con suficiente precisión actividades que ponen en riesgo a los individuos con demencia.

Para ello, se propuso el concepto de intervenciones para demencia asistidas por el ambiente para reconocer situaciones de riesgo e intervenir proactivamente para atenderlas. Recientemente se han desarrollado robots de asistencia social que guían sesiones de terapia de estimulación cognitiva para personas con demencia, lo cual ha presentado resultados muy positivos.

Durante la pandemia de covid-19 también se colaboró con el ING en el desarrollo y la evaluación de una plataforma para monitorear casos de contagios en residencias para adultos mayores en México.

Por otra parte, en 2011 inició la investigación sobre el uso de videojuegos interactivos como elementos de terapia para grupos vulnerables, en particular con adultos mayores y personas con dificultades de neurodesarrollo, tales como el síndrome de Down, discapacidad intelectual y autismo.

La metodología centrada en el usuario y las interfaces naturales han sido la base para el diseño de los videojuegos interactivos. En este par de décadas, se ha trabajado con la población y especialistas en el área de la salud, terapeutas físicos, psicólogos y geriatras de diversos grupos a nivel estatal y nacional, como el Centro de Rehabilitación Integral de Ensenada, el Instituto Nacional de Rehabilitación, las asociaciones Grupos Vulnerables de Ensenada y Centro Ximena para informar el diseño de los videojuegos, así como para evaluar la experiencia de usuario.

Además, se han desarrollado videojuegos para la ejercitación física y de la memoria de adultos mayores, terapia física para la coordinación motriz gruesa y fina de las extremidades superiores e inferiores de niños con autismo y discapacidad intelectual, así como para el apoyo a la terapia de consciencia y regulación emocional de personas con dificultades de neurodesarrollo.

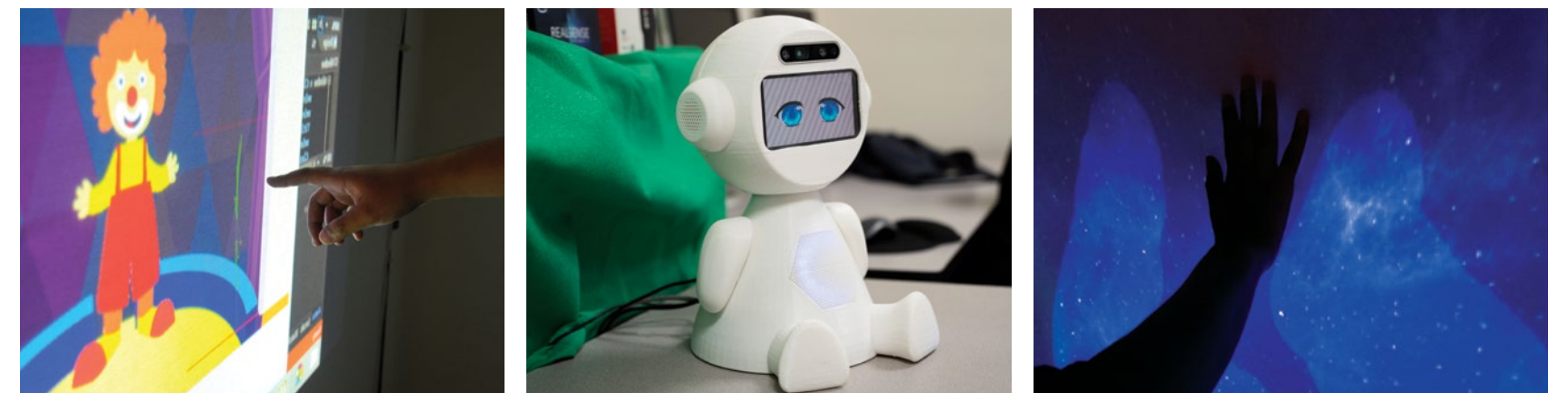


Un aspecto relevante de mencionar es la motivación que demuestran las personas por el uso de estos desarrollos durante las evaluaciones en ambientes reales, ya que la terapia les parece más divertida.

Por ejemplo, durante la evaluación de *Froggy Bobby*, un videojuego interactivo para la terapia de coordinación motriz gruesa de miembros superiores para niñas y niños con autismo, ellos mismos pedían acudir al lugar de la evaluación para "jugar" con el videojuego, sin darse cuenta de que forma parte de su terapia. Así mismo, en pocas sesiones usando *Emotion4Down*, un videojuego para la enseñanza de la consciencia emocional, los adolescentes con discapacidad intelectual débil, mostraron mucho interés e indicios de aprendizaje de las emociones.

En 2008, inició una línea de investigación interdisciplinaria para el estudio científico de la interacción humano-computadora utilizando técnicas y herramientas de psicología, neurociencia, ciencias cognitivas, ciencia de datos e inteligencia artificial.

Esta línea se enfoca en el desarrollo y uso de interfaces naturales de usuario para ayudar a entender cómo los estímulos visuales, audibles y táctiles que utilizan interacciones innovadoras con videojuegos, superficies interactivas, sonificación interactiva y cómputo háptico pueden crear una comunicación directa con nuestro cerebro, alterar lo que éste percibe o establecer nuevas conexiones neuronales.



Esta investigación recibió financiamiento del Conacyt, *Microsoft Research*, la Fundación Nacional de Ciencias de Estados Unidos, la red CERES con apoyo de la fundación de Robert Wood Johnson y la Asociación de Maquinaria Computacional.

También se ha colaborado con múltiples instituciones de educación superior, la iniciativa privada, escuelas rurales y centros psicopedagógicos para mejorar los tratamientos y diagnósticos de infantes con trastornos de neurodesarrollo, en especial aquellos con Trastorno del Espectro Autista (TEA).

En los últimos cinco años los resultados han demostrado que el uso de interfaces cerebrales permite controlar videojuegos utilizando la atención de las infancias con TEA, lo que mejora la eficacia de las terapias de neuroretroalimentación, y así se reducen los problemas de atención en los niños.

También se ha demostrado que alterar los estímulos sensoriales para cambiar la manera en que el cerebro procesa las interacciones con superficies rígidas utilizando patrones vibrotáctiles permiten identificar marcadores digitales relevantes para el TEA y cambiar la percepción de flexibilidad alterando características sonoras como el timbre.

Esta línea de investigación es pionera en México y proporciona evidencia empírica de su potencial para transformar las terapias y el diagnóstico en esta área hacia el uso de una solución más accesible y que, potencialmente, lleve los últimos avances de la interacción basada en neurociencia a los hogares y centros psicopedagógicos de niños con trastornos de neurodesarrollo.

*Investigadores del Departamento de Ciencias de la Computación.

Geociencias

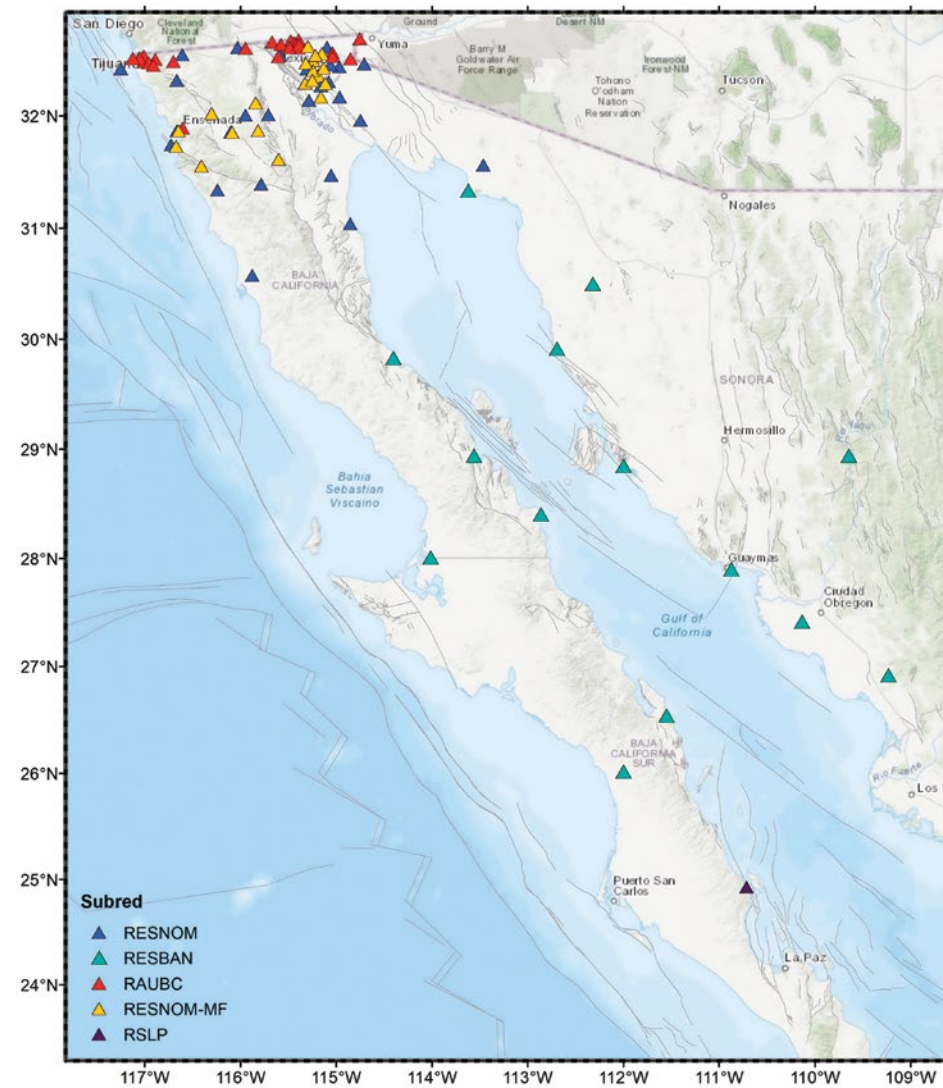
► Tomando el pulso de los fenómenos naturales inevitables: los sismos

Norma Herrera*

La corteza terrestre está formada por 12 grandes placas tectónicas. En la frontera de dos, las placas del Pacífico y Norteamericana, se asientan la península de Baja California y el golfo de California.

Su movimiento relativo genera sismos importantes en la región que deben ser monitoreados para investigar la actividad sísmica y generar bases de datos confiables que contribuyan a saber más y, en asociación con las autoridades correspondientes, comunicar a la sociedad y reducir efectos adversos hacia la población.

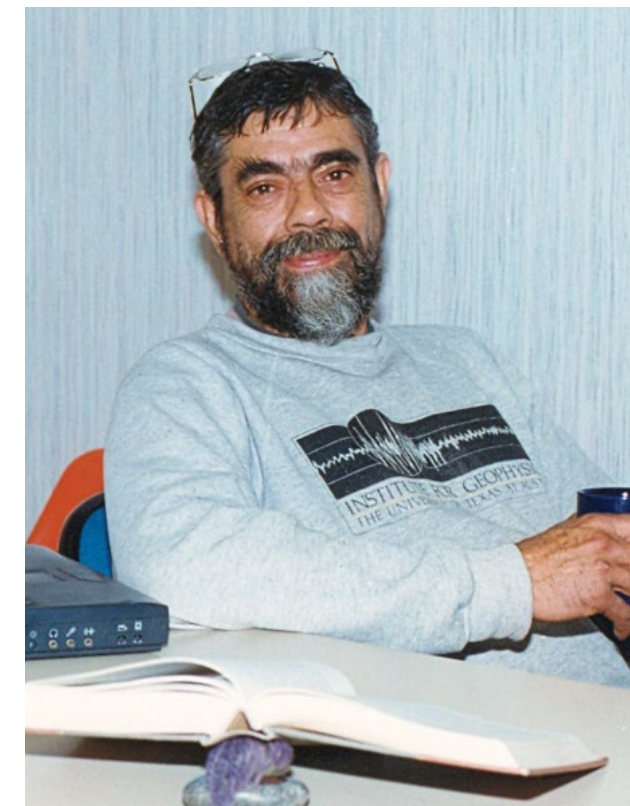
En 1973, meses antes del decreto oficial de creación del CICESE, el M. en C. Juan Antonio Madrid González (†) supo de este naciente centro de investigación en Ensenada y decidió venir a explorar terreno. Era investigador del Instituto de Geofísica de la UNAM y recién había regresado de Canadá, donde estudió la maestría, cuando alguien habló del hoy CICESE.



Sabía de la existencia de una red sísmológica en Baja California operada por la UNAM, Caltech y Scripps y de falta de personal que la atendiera. “Yo quería salirme de la ciudad de México. Fui con Cinna Lomnitz (†), que era mi jefe, y le dije que quería irme a Ensenada a atender la red sísmológica. Cinna estaba escribiendo algo, levantó la cara y me preguntó: ¿Cuándo te quieres ir? ¡Ya!”, narra Juan Madrid en una entrevista realizada en 2002.

Él llegó el 9 de marzo de 1973 al puerto y a los seis meses renunció a la UNAM para quedarse aquí. A meses de su llegada, la UNAM cedió la red al CICESE y comenzó el grupo de sísmología dentro del Departamento de Geofísica, del cual Juan Madrid fue jefe de 1973 a 1975. “Entonces, Alfonso Reyes Zamora (†) terminaba sus estudios de doctorado en La Jolla y para atraerlo aquí le cedí la jefatura”.

Al tiempo que se iba integrando el primer grupo de investigadores en el entonces departamento –Juan Madrid, Alfonso Reyes, Harold Johnson– llegaron los primeros estudiantes entre ellos Cecilio Rebolgar y Luis Munguía que, con los años, cambiarían la credencial de estudiante por la de investigador.



De red en red

Respecto a la red sísmológica de 1973, recordaba Juan Madrid: “Siempre tuvimos el problema del presupuesto. La red inicial la heredamos, la pagaron los americanos, la siguiente se hizo aquí con tecnología de telecomunicaciones local que causó asombro en Kinemetrix (fabricante de sismógrafos). Cuando supieron que habíamos resuelto el problema de grabación a distancia (telemetría) se quedaron muy asombrados, vinieron a ver. Se hizo muy buen trabajo.”

En ese recuerdo de desarrollo tecnológico coincidió en otra entrevista Cecilio Rebolgar Bustamante, quien recién egresado del Instituto Politécnico Nacional, junto a su colega Luis Munguía, llegó al naciente centro en la misma época para años después convertirse en el primer graduado en la historia del CICESE.

El 4 de mayo de 1977, Cecilio defendió su tesis “Estudio detallado del enjambre en San Quintín, Baja California, México, ocurrido durante 1975”, para obtener el grado de maestro en ciencias en Geofísica con especialidad en Sismología, según consta en el primer folio del libro de actas del hoy Departamento de Servicios Escolares del CICESE. ¿Su director? Alfonso Reyes.

Su llegada a Ensenada y su primera visita a las instalaciones del naciente CICESE, en las calles Gastélum y novena, casi lo hacen caer en *shock*: “Cuando vi las instalaciones –comparadas con las de la UNAM y el IPN en la hoy ciudad de México– me arrepentí un poco, pero el CICESE creció y ha funcionado muy bien. El CICESE era una apuesta y ganamos los que llegamos. Antes no había nada, ahora es un centro de prestigio nacional e internacional”, dijo Cecilio, en entrevista, en 2001.

En el texto “Tras la huella de los sismos: un registro en el noroeste mexicano” publicado en *CICESE. Los primeros 40 años*, Víctor Wong Ortega y Luis Munguía Orozco ofrecen una breve historia de la labor que este centro ha protagonizado en la instrumentación sísmica en Baja California, entendida ésta como la actividad de medición, registro y análisis de los temblores por medio de instrumentos.

Desde 1973, el CICESE colaboró en la operación de la Red del Golfo de California, y a partir de 1975 el centro se hizo cargo de su operación y mantenimiento. Esa red, integrada por nueve estaciones, tenía como objetivo estimar los epicentros, las magnitudes, distribución e intensidad de los temblores que ocurrían en la región del golfo.

En 1976 se instaló la Red de Acelerógrafos del Norte de México y un año después la Red Sísmica de Cerro Prieto. Paralelamente, recuerdan los autores, se iniciaba el proyecto de construcción de una red sísmica con telemetría digital para instrumentar la región norte de Baja California y el Valle de Mexicali usando la red nacional de microondas para transmitir, vía telefónica, las señales digitales al CICESE.

Así, en el verano de 1977, nació la colaboración entre dos grupos de investigación del centro –telecomunicaciones y sismología– y la Red Sísmica del Norte de Baja California (Resnor) con seis estaciones que transmitían continuamente las señales sísmicas por telemetría digital. En el CICESE, las señales eran decodificadas y podían graficarse en papel y grabarse en cintas magnéticas. La nueva tecnología de registro y comunicación que el CICESE había desarrollado cambió la forma de hacer ciencia.

A medida que el CICESE crecía e iba reconociéndose nacional e internacionalmente, nuevas redes sísmicas, con objetivos específicos, se incorporaron a su infraestructura para monitorear otras regiones de interés a través de proyectos de colaboración con universidades extranjeras, o con proyectos externos financiados por la iniciativa privada y empresas paraestatales.

Bajo esa perspectiva, en el texto de referencia se narra la adquisición y puesta en operación de seis redes sísmológicas y dos de edición de la deformación cortical a largo plazo. El estudio de la sismicidad registrada por las redes del CICESE ha contribuido a plantear el modelo de la tectónica regional y su correlación con las fallas sísmicamente más activas; la identificación de nuevas fallas en el Valle de Mexicali; la generación de modelos de atenuación regional y de respuesta de suelos sedimentarios y rocosos ante movimientos fuertes y movimientos débiles; la contribución de la sismología en la exploración de campos geotérmicos; la microzonificación de suelos; la realización de estudios geotécnicos en apoyo a la comunidad de ingenieros en la región, así como al impulso de una cultura de la prevención en la población y mantener informados en tiempo real a los medios y a las autoridades locales en temas relacionados con la sismicidad de la región.



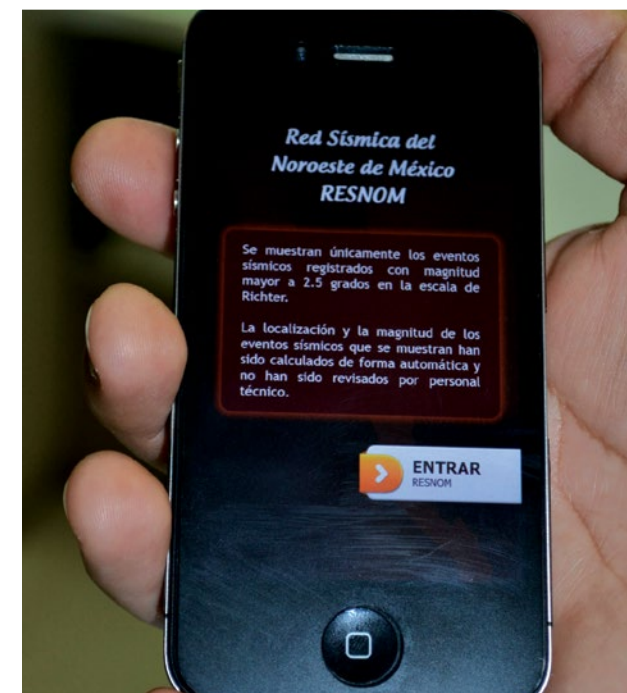
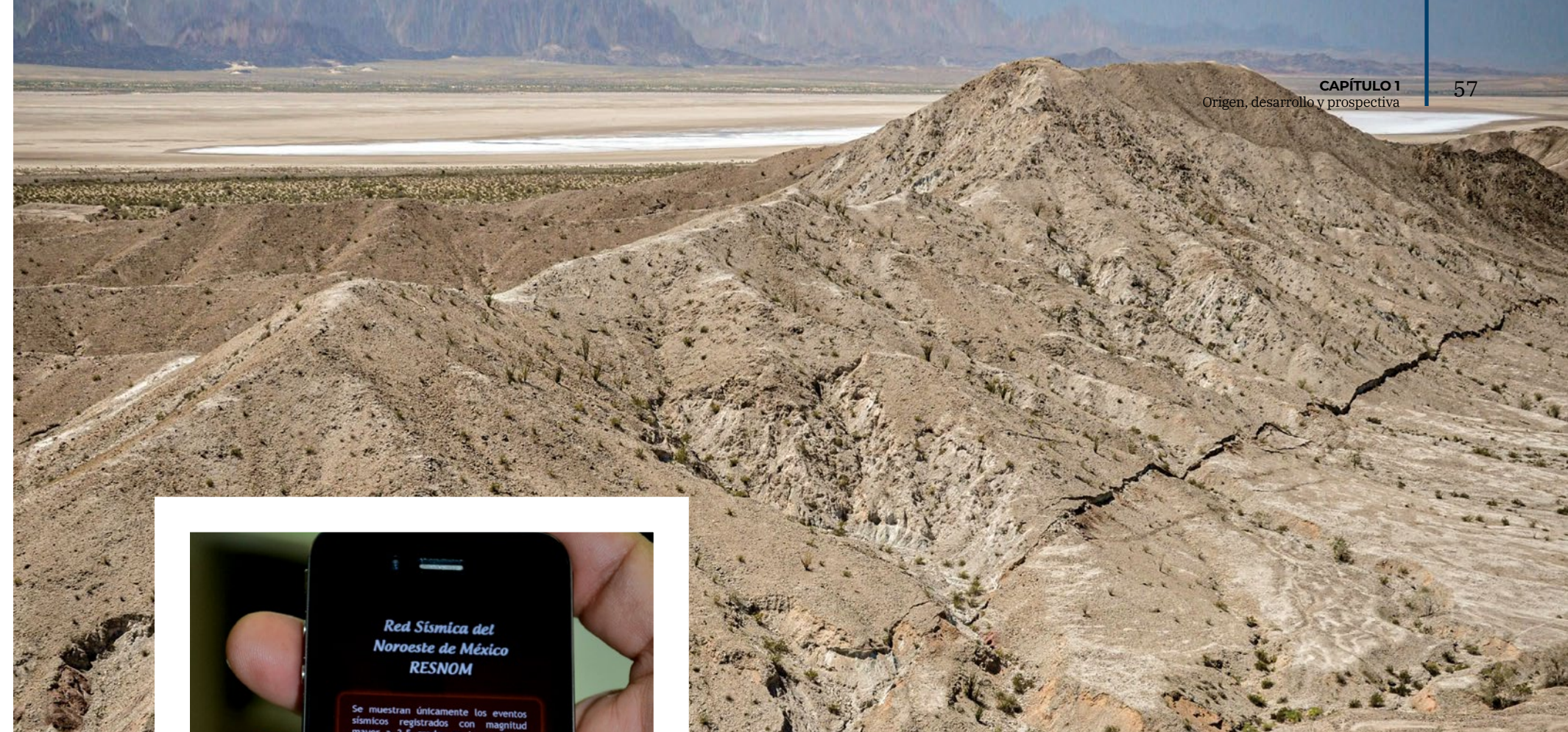
Del registro sísmico

El mismo texto informa acerca de los sismos relevantes registrados en Baja California, desde 1900, y por las redes sísmicas del CICESE. Aunque Resnom comenzó operando en 1977, el registro formal de temblores comenzó tres años después con las réplicas del sismo Victoria, cuyo epicentro del sismo principal ocurrió en el Valle de Mexicali ocasionando severos daños al sistema de riego y a las casas de sus pobladores.

Del registro de sismos, de una presentación de la historia del Departamento de Sismología de Antonio Vidal y Julia Sánchez, se retoma la referencia del registro de tres que repuntan al departamento. En orden cronológico son los siguientes.

El temblor de Victoria (M 6.1), del 9 de junio de 1980, debido a que marca el inicio de la captura y procesamiento de las señales digitales; se registran las réplicas y se obtiene apoyo del Conacyt para dar origen a la red telemétrica Resnor.

El segundo es el enjambre de 5 temblores de la falla de Cerro Prieto, el 8 de febrero de 2008 (M 5.5, 5.4, 5.1, 5.3 y 5.0), tras lo cual se obtiene apoyo de la iniciativa privada a la Red Acelerométrica Urbana de Baja California.



Respecto al fortalecimiento de la red, en 2011, con el apoyo del Conacyt gestionado por el gobierno de Baja California, la donación de equipo sísmico del Servicio Geológico de Estados Unidos y la colaboración con la Red Sísmica del Sur de California y el Servicio Sismológico Nacional de México, se amplió la cobertura de Resnom, se modernizó la instrumentación de las estaciones (a equipo de banda ancha) y se automatizaron los sistemas de procesamiento, lo cual permite generar el reporte de localización y magnitud de un sismo en alrededor de un minuto.

Desde su fundación, el Departamento de Sismología ha ponderado la aplicación social del trabajo de monitoreo de las redes sísmicas y de la investigación que se genera con el uso de la información sísmica, ponderada ésta para investigaciones científicas, pero, además, para contribuir a campañas de educación, divulgación, prevención y mitigación de desastres producidos por sismos.

En 2012, Resnom lanzó su aplicación móvil para la plataforma iOS (Apple), gratuita, que ofrece a los usuarios la información de la sismicidad regional. Un año después, se lanzó la app para la plataforma Android, con lo cual el servicio social se ofrece en las dos plataformas más importantes de *smartphones*.

El tercero es el registrado el 4 de abril de 2010 en la Sierra Cucupah y Sierra El Mayor (M 7.2), que marcó un parteaguas en los temas de investigación y en el fortalecimiento de la red sísmica CICESE. Respecto a lo primero, destaca una nueva hipótesis acerca del comportamiento de fallas, propuesta por John Fletcher y colaboradores y publicada en un artículo de la revista *Nature Geosciences*. Este sismo (se abunda páginas adelante en esta edición), activó movimiento en al menos siete diferentes fallas y produjo la ruptura más compleja documentada en la frontera de las placas Norteamericana y del Pacífico.



En caso de que ocurra un sismo con magnitud igual o mayor a 5, con la información registrada, pueden construirse modelos computacionales confiables que permitan visualizar las áreas donde se registran las aceleraciones máximas del terreno. Así, las autoridades locales de Protección Civil podrían utilizar esta información para el envío de ayuda a la población cercana al epicentro del sismo.

Las autoridades locales, estatales y federales encargadas del manejo de las situaciones de riesgo se pueden conectar a las bases de datos del CICESE en tiempo real. Además, se pueden instalar instrumentos en edificios especiales por el número de personas que albergan, como escuelas, hospitales, teatros, estadios y otros, como parte de un programa de alertamiento sísmico y diagnóstico sismo estructural.

Una de las siguientes etapas para la red es la posible implementación de un Sistema de Alerta Sísmica Temprana para el norte de Baja California. Además, derivado del “Taller de pronóstico de réplicas” impartido por investigadores del Servicio Geológico de Estados Unidos, en colaboración con el Departamento de Sismología del CICESE, en 2023, se trabajará para, a mediano plazo, considerar la posibilidad de generar pronósticos de réplicas que se difundan a través de la página de Resnom del centro.

Agua Blanca

La sismicidad en el sur de California y el norte de Baja California en México ha sido ampliamente estudiada por investigadores del CICESE y de Estados Unidos; no obstante, existe una zona poco estudiada hacia el centro y sur de la península de Baja California. Si bien ha habido esfuerzos de algunas personas del CICESE, desde la falla de Agua Blanca a la punta peninsular, hay mucho por investigar y aprender.

Aprobada en la convocatoria Ciencia de Frontera 2019 del Conacyt, la propuesta del proyecto *Hacia una mejor definición del límite de placa Pacífico-Norteamérica en Baja California Centro y Sur*, del doctor Carlos Reinoza Gómez, centra su objeto de estudio en la falla Agua Blanca, donde “no se ha producido un sismo importante en los últimos años ($M \geq 5$), pero sí tiene movimiento y existen estudios paleosísmicos que indican la ocurrencia de sismos moderados a grandes en el pasado.

“Agua Blanca es una falla activa con un potencial sismogénico que en algún momento podría dar una sorpresa. Nosotros queremos ir a detalle. Agua Blanca es una falla representativa para Ensenada, pero hay otras fallas que ni siquiera hemos considerado y que debemos estudiar”, comentó el investigador.



El Departamento de Sismología llega al quincuagésimo aniversario de la institución operando más de 100 estaciones integradas en la Red Sismológica del CICESE compuesta por seis subredes que permiten la obtención de diferentes tipos de señales sísmicas y geodésicas: la Red Sismológica de Banda Ancha del Golfo de California (Resban), la Red Sísmica del Noroeste de México (Resnom), la Red Sísmica del Noroeste de México de Movimientos Fuertes (Resnom-MF), Redes Acelerométricas Urbanas de Baja California (RAUBC), la Red Sísmica de La Paz (RSLP) y la Red Geodésica del Noroeste de México (Regnom).

Un objetivo institucional es mantener en funcionamiento continuo las estaciones de esta gran red, con el fin de registrar la actividad sísmica del noroeste de México y con ello formar una base de datos sísmicos para realizar trabajos de investigación.

La información obtenida por cada una de las subredes permite desarrollar investigación en campos asociados a las diez líneas de investigación del departamento: Riesgo sísmico: atenuación, respuesta de sitio y zonificación; Estudios de fuente, efectos de sitio y atenuación sísmica; Sismicidad, sismotectónica y sismología computacional; Geodesia y sismicidad de Baja California; Deformaciones y sismicidad inducida por actividad antropogénica; Propagación de ondas sísmicas en medios complejos; Sismología aplicada a la ingeniería; Peligro sísmico; Física de medios porosos y sus aplicaciones, y Sismología de volcanes.

*Integrante del Departamento de Comunicación.





► Estudios de riesgo geológico en el NW de Baja California: una breve historia

Luis Alberto Delgado Argote*

Estrictamente hablando, el trabajo asociado a riesgos geológicos ha sido principalmente de tipo forense, salvo un par de intervenciones para prevenir daños por deslizamientos del terreno. Sin ahondar en tediosas definiciones, el enfoque forense intenta conocer las causas que provocaron el movimiento del terreno ocasionando daños a la población y sus bienes. Los estudios en el CICESE han resultado principalmente de distintas solicitudes ciudadanas para analizar accidentes de naturaleza geológica.



La primera experiencia fue en Tijuana, Baja California, a raíz de la temporada de lluvias extraordinaria de 1992-1993 que detonó deslizamientos de laderas en varias zonas de esa ciudad. Desde esos años hasta 1994 realizamos una intensa actividad de cartografía geológica desde Playas de Tijuana hasta la presa Abelardo L. Rodríguez. La mayoría de las zonas donde se observaron deslizamientos fueron desarrollos habitacionales que iniciaron como asentamientos irregulares donde las malas prácticas de corte y relleno de pendientes desestabilizaron los terrenos.

La experiencia de cubrir un área tan amplia de la ciudad permitió aplicar una relación empírica de factores geológicos y geomorfológicos de riesgo para la ciudad entera con ayuda de técnicas de sensores remotos. Con excepción de Playas de Tijuana, que se localiza en una planicie, en la mayoría de los casos de deslizamientos de laderas se combinaron las pendientes pronunciadas (>18%) con discontinuidades de naturaleza geológica, como fallas y fracturas, capas de sedimentos pobremente consolidados que yacían inclinadas en el sentido de las pendientes y, en particular, donde existen horizontes o capas arcillosas que se lubrican con las lluvias.

Estas características son comunes en gran parte de la zona urbanizada del oeste de Tijuana y San Diego, dominada durante el último millón de años por el depósito de sedimentos gruesos, como las arenas y los conglomerados, durante las tormentas, y sedimentos finos como el limo y las arcillas, cuando el flujo de agua era de baja energía. Estos depósitos cercanos a la costa ocurrieron en un ambiente de topografía suave donde se desarrolló un drenaje pluvial trenzado. En contraste, en el oriente de la ciudad dominan las rocas resistentes a la erosión de origen volcánico e intrusivo, como el granito, asociadas con pendientes más estables.

Con la experiencia en Tijuana, y aprovechando los acantilados naturales y cortes carreteros de Salsipuedes, en donde se exponen los estratos sedimentarios, así como las fracturas y fallas que los cortan, entre 1999 y el año 2000 se hizo un estudio geológico en la carretera escénica Tijuana-Ensenada.

Desde antes de su construcción se sabía que la zona era de naturaleza inestable, pero no se había cartografiado geológicamente. Al mismo tiempo se dio apoyo a colonos de San Miguel y Cíobolas del Mar quienes observaban indicios de inestabilidad, en o cerca de los terrenos que habitaban.

Estos trabajos geológicos sirvieron de referencia para entender el colapso de aproximadamente 300 m en el kilómetro 93 de la autopista que ocurrió el Día de los Inocentes de 2013. A partir de ese acontecimiento se empezaron a combinar las mediciones geológicas con métodos geofísicos de prospección eléctrica con muy buenos resultados.

La interpretación geoelectrica del subsuelo –con la que se hace una tomografía– y el análisis estructural se extendieron al estudio del libramiento Ensenada del año 2015 al 2016, el cual está construido en una zona de rocas de origen volcánico e intrusivo, como las del oriente de Tijuana, donde los cortes con pendiente fuerte favorecieron las caídas frecuentes de bloques, principalmente durante las temporadas de lluvia.

De viviendas irregulares a fraccionamientos planeados

Dos años después, se combinaron las técnicas geológicas, geofísicas y satelitales para resolver otras formas de deformación del terreno en Tijuana. A diferencia de los deslizamientos y colapsos estudiados antes, en estos nuevos casos ocurrieron en fraccionamientos planeados y construidos después del año 2000, registrándose hundimientos. Se observó que las técnicas de corte y relleno siguen siendo inadecuadas o sin considerar las características geológicas del subsuelo, a pesar de que la reglamentación de estos desarrollos urbanos promueve su estudio.

En estos lugares los rasgos más importantes, que no son evidentes en la superficie del terreno, son los canales o arroyos antiguos formados por el sistema de drenaje pluvial natural de hace aproximadamente un millón de años, los cuales fueron rellenados y sepultados durante lluvias posteriores. Estos antiguos canales pueden asociarse con fallas geológicas o ser efecto del agua que excavó el terreno como consecuencia de lluvias intensas que incrementaron el caudal de los arroyos. En ambos casos se formaron depresiones que se rellenaron, las cuales sólo pueden identificarse al hacer cortes como los carreteros, o bien a través de métodos geofísicos.



Además del estudio geológico-geofísico, en el último caso analizado en Tijuana, a través del Servicio Geológico de California, se tuvo disponibilidad del mapa geológico del condado de San Diego, el cual muestra con gran detalle los afloramientos de rocas antiguas y depósitos de sedimentos modernos, así como estructuras de deformación de esta región tectónicamente activa. El norte de Baja California comparte el mismo entorno geológico que San Diego, por lo que es urgente hacer mapas similares que se apoyen con estudios geofísicos del subsuelo, así como de la deformación mediante técnicas geodésicas y sismológicas modernas.

Dichos estudios urgen para ofrecer planes de desarrollo urbano apropiados para una región tectónicamente activa con un acelerado crecimiento poblacional. Es evidente que la frecuencia de daños ocasionados por fenómenos naturales en nuestras ciudades es mayor que en las del sur de California debido, en parte, al contrastante conocimiento del terreno.

Por ello, se debe insistir en la necesidad de conocer la naturaleza física y el comportamiento de los terrenos ante la amenaza de diversos fenómenos naturales que, en nuestra región, son predominantemente atmosféricos y sísmicos. En el mismo sentido, también es urgente sensibilizar a las autoridades y a la población sobre la aplicación de dicho conocimiento para prevenir y amortiguar daños advertidos.

► Grupo Sismología Aplicada a la Ingeniería: evolución y futuro

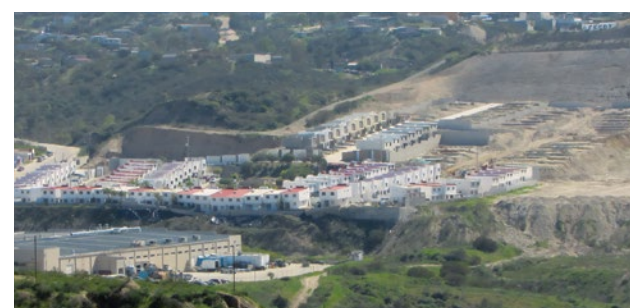
Luis Humberto Mendoza Garcilazo**

El sismo de magnitud 8.1 con epicentro en las costas de Michoacán ocurrido el 19 de septiembre de 1985, sigue en la historia del país como uno de los fenómenos naturales que más han afectado a la ciudad de México. A raíz de este, bajo el liderazgo del investigador Alfonso Reyes Zamora, en el Departamento de Sismología surgió la necesidad de entender las causas que provocaron tanta destrucción.

Así, inició una línea de investigación sobre el estudio de la respuesta sísmica en suelos, llamada Estudios de microzonación sísmica, y se instaló en el Valle de México una red acelerométrica y de respuesta sísmica de estructuras. El trabajo en conjunto con el Grupo ICA se realizó de 1986 a 1991.

A fines de 1991, inició el primer proyecto externo para estudiar las causas de un deslizamiento de tierra en la colonia Anexa Libertad y el primer estudio de microzonación sísmica en Tijuana, con el Ayuntamiento de esa ciudad.

En Mexicali, con la colaboración del Dr. Enrique Luco, de la Universidad de California San Diego, se obtuvo financiamiento de la Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia para la instrumentación y estudio de la estructura del Hospital General de Mexicali, que resultó dañado en noviembre de 1987 por el sismo Superstition Hills. El hospital fue desalojado por dos años, reestructurado y reabierto al público en enero de 1992. Ese estudio finalizó en 2011 con un proyecto de reestructuración y retiro de la instrumentación.



Al identificar la alta vulnerabilidad sísmica de la zona urbana de Tijuana y con el patrocinio y asesoría de la Organización de las Naciones Unidas, comenzó en enero de 1998 el proyecto RADIUS Tijuana, para producir herramientas de evaluación y mitigación de riesgo sísmico en zonas urbanas. A 25 años de su creación, este grupo continúa trabajando con el lema "Por una ciudad sísmicamente segura".

En febrero de 2008 ocurrió un enjambre de sismos al norte del volcán Cerro Prieto que alertó a todos los habitantes de la zona urbana de Mexicali y su valle. Por invitación del alcalde de Mexicali y el gobernador del estado se atendió a la prensa y a la ciudadanía.

Con la aportación del sector privado, el municipio cachenilla y el gobierno de Baja California se ordenó la compra de 10 acelerómetros para ser instalados en la zona urbana. Así, surgió la Red Acelerométrica Urbana de Mexicali.

El sismo del 4 de abril de 2010 en el Valle de Mexicali favoreció el apoyo financiero a la Red Sísmica de del CICESE; a través del Fondo Mixto Conacyt-Baja California, por instrucciones del gobernador, se otorgaron cerca de 7 millones de pesos con los cuales se mejoró la cobertura e instalaciones de la red, en el edificio de la División de Ciencias de la Tierra.

En 2011, con fondos de *North Command-USA*, se aumentó el apoyo a Resnom y se financió la compra de seis estaciones para la zona urbana de Tijuana. Nacieron entonces las Redes Acelerométricas Urbanas de Baja California (RAUBC).

A la fecha se cuenta con instrumentación en Mexicali, Tijuana y Ensenada. En 2021, gracias a la donación de 49 instrumentos del Servicio Geológico de Estados Unidos, se alcanzó mayor cobertura en el resto de las zonas urbanas.

Desde 1991, a partir del primer proyecto externo del grupo de trabajo Sismología Aplicada a la Ingeniería se han realizado 90 proyectos con fondos externos, relacionados con la disminución del riesgo geológico y sísmico en áreas urbanas.

El grupo de trabajo Sismología Aplicada a la Ingeniería ha estado conformado por los investigadores Luis H. Mendoza Garcilazo, José G. Acosta Chang (J) y el personal técnico Rogelio Reyes Serrano, Sergio Vázquez Hernández, Armando Valdez Terriquez, Ernesto Rocha Guerrero (†) Orlando Granados Hernández (†), Euclides Ruiz Cruz, Gustavo Arellano Zepeda (J), Susana Álvarez Tinajero (J) y continúa en labores de reducción de riesgos.

*Investigador en el Departamento de Geología.
** Investigador del Departamento de Sismología.



► La exploración geotérmica en el CICESE

José Manuel Romo Jones*

La exploración de recursos geotérmicos ha estado ligada al Departamento de Geofísica Aplicada del CICESE desde sus orígenes. Al final de la década de los 70, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) estaba explorando el campo geotérmico de Cerro Prieto, en Mexicali, Baja California, y había una importante actividad académica tratando de entender el funcionamiento de éste y cómo podría ser desarrollado y explotado de la mejor manera posible.

Se estaban realizando diversos estudios geológicos, geoquímicos y geofísicos, con la participación muy activa del Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley de la Universidad de California, en Berkeley, del entonces Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) –actualmente Instituto de Electricidad y Energías Limpias (INEEL)–, y de la propia CFE a través de su Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos.

Por otra parte, el uso de la inducción electromagnética (o método magnetotelúrico) como herramienta para explorar el subsuelo era, entonces, una metodología geofísica que también se encontraba en sus primeras etapas de desarrollo. Varios grupos de investigación alrededor del mundo trabajaban en distintos frentes: afirmando sus fundamentos teóricos, desarrollando instrumentación para realizar mediciones, haciendo algoritmos para el procesamiento de datos y simulación numérica, entre otros, con el objetivo de hacer posible el uso práctico de la metodología.

En ese contexto, Mario Martínez García, entonces investigador del centro, comenzó el proyecto *Asimilación del método magnetotelúrico tensorial como herramienta de exploración en la búsqueda de campos geotérmicos*, enfocado en el desarrollo de una metodología que prometía ser de utilidad para detectar en el subsuelo la presencia de zonas permeables conteniendo fluidos geotérmicos.

En el proyecto, financiado por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, participaban la UNAM, el IIE, la CFE como usuario final y la Universidad de California como asesora y facilitadora de la transferencia del conocimiento y tecnología internacional. Para desarrollar el proyecto, Mario Martínez integró el Grupo de Métodos Eléctricos conformado por los estudiantes Rogelio Vázquez, Raymundo Vega y José Manuel Romo; dos técnicos en electrónica, Víctor Izquierdo y Alberto Colín, y más tarde por los doctores Ricardo Fernández Tomé y Hubert Fabriol.

Paso a paso el proyecto favoreció grandes aprendizajes de distinta índole: era necesario desarrollar instrumentación para medir el campo electromagnético natural, escribir software para el registro y el procesamiento de las observaciones y desarrollar simuladores numéricos para encontrar modelos de la conductividad eléctrica del subsuelo que pudieran explicar los conjuntos de datos observados en distintas zonas de interés geotérmico.



Se tuvo también un intenso intercambio de experiencias con grupos de investigación no solo de Estados Unidos, sino también de Europa y de la entonces Unión Soviética. A mediados de los 80 al recién constituido Departamento de Geofísica Aplicada se unieron los doctores Enrique Gómez Treviño y Carlos Flores Luna, con quienes se consolidaron varias líneas de investigación derivadas del proyecto seminal antes mencionado.

Aprendizajes a prueba en el extranjero

Al terminar ese proyecto se contaba con instrumentación y experiencia suficientes para utilizar la metodología, no solamente en exploración geotérmica sino también en aplicaciones distintas. Así, en colaboración con George Jiracek de *San Diego State University*, CICESE participó en el experimento EMSLAB para la investigación de la subducción de la placa Juan de Fuca en la costa oriental de Estados Unidos, y como parte del curso de verano SAGE (Summer of Applied Geophysics Experience), en el estudio del Rift del Río Grande en Nuevo México, Estados Unidos. En México, se trabajó en varios proyectos para estudiar la conductividad eléctrica de las rocas de la corteza en Baja California.



Al final de los 80, la actividad del Departamento de Geofísica Aplicada en proyectos geotérmicos volvió a ser preponderante por un proyecto conjunto con el IIE, para explorar el campo geotérmico de Ahuachapán-Chipilapa, en El Salvador. El proyecto en ese país centroamericano constituyó una experiencia excepcional, no solamente por las circunstancias políticas de ese país en aquella época, sino también por el reto tecnológico que suponía la medición de datos magnetotélúricos en forma intensiva: en tres meses de trabajo de campo se observaron poco más de 100 sitios (un número mayor a todos los observados en los últimos 10 años).



Al regreso de El Salvador, por iniciativa de la CFE, comenzó la exploración del campo geotérmico de Las Tres Vírgenes, en Baja California Sur, así como otros prospectos geotérmicos menores en la región de Mulegé, en el mismo estado y Laguna Salada, en Baja California. Al inicio de los 90 la comisión perforaba los primeros pozos exploratorios en el complejo volcánico de Las Tres Vírgenes, tarea a la que contribuyó el Departamento de Geofísica por investigar la distribución de la conductividad eléctrica del subsuelo. En esa zona también se tomaron datos en un centenar de sitios. Como resultado de la colaboración entre la comisión y el centro, en el 2001 el campo geotérmico de Las Tres Vírgenes empezó a generar energía eléctrica de manera comercial.

En la primera década del año 2000, se regresó a trabajar en aplicaciones tectónicas y mineras explorando la evolución de la corteza de la península de Baja California en la región del Vizcaíno y un prospecto minero en Nacoziari, Sonora, mediante un convenio con la empresa Peñoles.

En 2012, nuevamente se retomaron temas de geotermia cuando la Secretaría de Energía y el Conacyt lanzaron la convocatoria inicial para crear el Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica (CeMIEGeo). El CICESE encabezó la propuesta con la participación de cinco instituciones más: la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, la UNAM, el IEE, la Universidad de Guadalajara, la Universidad Politécnica de Baja California, la CFE y varias empresas privadas.

El consorcio CeMIEGeo llevó a cabo 30 proyectos específicos en cuatro ejes temáticos: evaluación de los recursos nacionales, desarrollo de técnicas de exploración, desarrollo tecnológico para explotación y usos directos del calor geotérmico. Adicionalmente, se realizaron dos proyectos transversales, uno para promover la formación de recursos humanos y otro para la creación de un sistema de laboratorios especializados. El proyecto, financiado por el Fondo de Sustentabilidad Energética Sener-Conacyt, se desarrolló entre 2014 y 2019 con la participación de más de 400 personas, entre investigadores, estudiantes, técnicos y apoyos administrativos.

Los resultados de los proyectos pueden consultarse en la publicación *CeMIEGeo. Contribución a la Sociedad y al Conocimiento* y en la *Colección Digital CeMIEGeo*. A manera de resumen, hasta junio de 2019, el proyecto había producido 118 publicaciones científicas, un número similar de tesis de posgrado y licenciatura, 88 mapas temáticos, 97 bases de datos, y una gran cantidad de informes técnicos, ponencias y cursos. Hasta la fecha continúan presentándose tesis sobre el tema y se producen publicaciones relacionadas con resultados de proyectos específicos del consorcio.

La visibilidad internacional que brindó el proyecto CeMIEGeo a los grupos académicos mexicanos dedicados a la geotermia, así como la cohesión lograda entre ellos, hicieron posible que en 2017 se aprobara el proyecto Gemex, financiado en forma conjunta por el Conacyt y el Programa Horizonte 2020 de la Unión Europea.

Gemex fue una colaboración de grupos mexicanos y europeos para el estudio de recursos geotérmicos no-conventionales, en particular los que se conocen como sistemas geotérmicos mejorados (*enhance geothermal systems*) y sistemas de roca seca caliente (*hot-dry rock systems*).

La generación de conocimiento para el futuro desarrollo de este tipo de recursos es un tema de frontera, por el impacto que pueden tener en la generación de energía limpia. Se piensa que este tipo de sistemas puede aportar entre diez y veinte veces más energía que los sistemas hidrotermales que actualmente se aprovechan en el mundo. En el proyecto Gemex (2017–2020), liderado por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, participaron la CFE, el CICESE, la UNAM y el IEE junto con dos empresas privadas mexicanas.

El grupo europeo, coordinado por el Centro Helmholtz de Potsdam, en Alemania, estuvo constituido por 23 instituciones de 10 países europeos. Las investigaciones se enfocaron en dos zonas de interés en México, ambos en el estado de Puebla: el campo geotérmico de Los Humeros, un campo en desarrollo en donde se han

podido medir temperaturas de más de 400°C, y la caldera de Acozulco, una zona en donde la CFE tiene dos perforaciones exploratorias que han encontrado 300°C a 2000 m de profundidad en rocas con muy baja permeabilidad. Los resultados del proyecto se pueden consultar en línea.

Actualmente el Departamento de Geofísica Aplicada trabaja en varias líneas de investigación. La exploración geotérmica y, en general, los métodos geofísicos que usan la inducción electromagnética para investigar el interior de la Tierra fueron los temas que le dieron origen y seguramente continuarán definiendo una de las rutas de desarrollo institucional.

*Investigador del Departamento de Geofísica Aplicada.





La exploración está en nuestra naturaleza. Comenzamos como vagabundos, y seguimos siendo vagabundos. Nos hemos demorado lo suficiente en las costas del océano cósmico. Estamos listos por fin para zarpar hacia las estrellas y entender mejor nuestro planeta”

Carl Sagan

► Flujos de calor: exploración del mar profundo

Raquel Negrete Aranda*

Las palabras de Carl Sagan no podrían explicar mejor lo que representa hacer ciencia y para qué. La exploración del mar profundo es exactamente como la exploración espacial: transporta a lugares que engañosamente parecen estar en la yema de los dedos, cuando literalmente son más difíciles de explorar que la luna; parecen de otro mundo y ahí se realizan los descubrimientos más emocionantes.

En el Laboratorio de Tectonofísica y Flujo de Calor (LTF) del CICESE, convergen la ciencia y la tecnología del estado del arte en el estudio multidisciplinario del Golfo de California. En particular, la línea de investigación desarrollada en este laboratorio se enfoca en los sistemas hidrotermales y anomalías térmicas recientemente descubiertos en el Golfo de California, ya que son casos ejemplares para analizar la plomería subterránea de estos sistemas. Mediciones de flujo de calor, temperatura local, datos químicos y estudios sísmicos ofrecen un “ultrasonido” del interior de la Tierra.

Nuestro planeta se enfría principalmente por la liberación de calor transportado desde el interior del planeta hasta la superficie, por magmas y fluidos hidrotermales. Un sistema global de cadenas montañosas submarinas disipa la mayor parte de ese calor a lo largo de sus crestas y flancos al mismo tiempo que forma una nueva litosfera oceánica por la solidificación de magma. También, una gran cantidad de agua fría de los océanos se filtra a través de fallas y fisuras en la corteza para encontrarse con los magmas, lo cual aumenta drásticamente su temperatura, causando su ascenso a la superficie y que reaccione con las rocas circundantes formando un respiradero hidrotermal.

Teniendo en cuenta que casi 25% del calor de la Tierra se pierde por la circulación hidrotermal a través de la corteza oceánica, es evidente que las áreas de ventilación activa alrededor de las dorsales oceánicas son puntos cruciales que controlan la velocidad a largo plazo a la que ocurren estos procesos. Desde su descubrimiento,

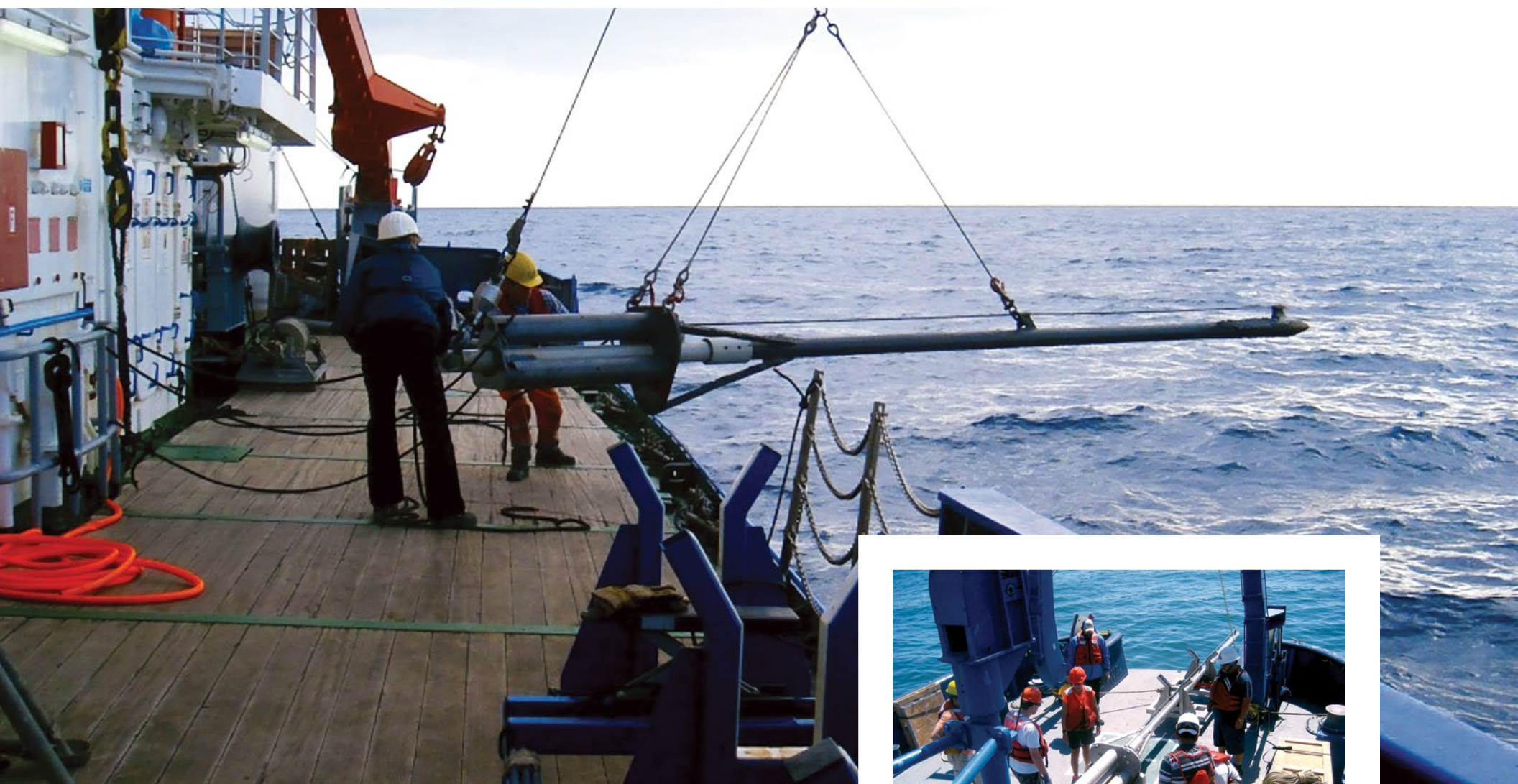
a principios de la década de 1970, los respiraderos hidrotermales y otros sistemas geotérmicos submarinos se han estudiado con mayor detalle utilizando herramientas de mayor resolución, lo que aporta nuevas pistas sobre los factores que controlan la migración de fluidos en la litosfera y la descarga del lecho marino.

El objetivo es resolver los componentes del sistema geotérmico que alimentan las zonas de alto flujo de calor y los campos de ventilación, con el fin de comprender cómo funcionan para eventualmente poder calcular el potencial geotérmico de estos sistemas, particularmente en el Golfo de California, y su impacto potencial como nuevas fuentes de energía renovable, limpia y sustentable.

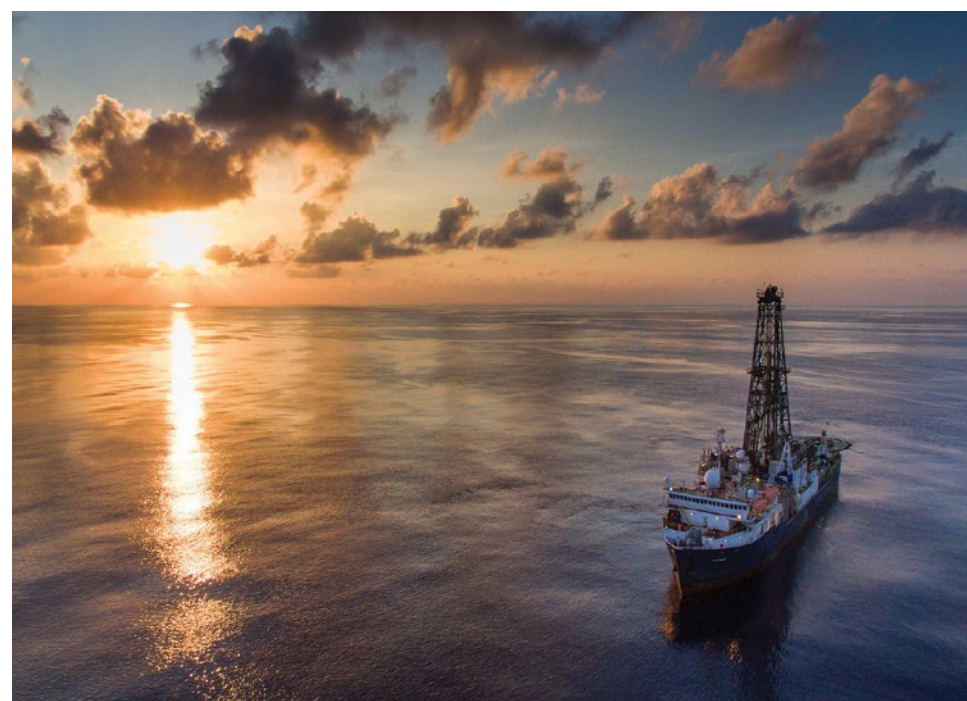
Para alcanzar este objetivo, los investigadores responsables del LTF han liderado cinco campañas oceanográficas en los últimos 10 años, enfocadas en la recolección de nuevos datos de flujo de calor en las diferentes cuencas del Golfo de California:

Año	Buque oceanográfico	Instituciones	Campaña oceanográfica	Investigadores responsables	Investigadores participantes y estudiantes
2012	Western Flyer	MBARI CICESE* UABC	Cuencas Alarcón Pescadero	David Clague Raquel Negrete* Ronald Spelz	Florian Neumann
2015	Alpha Hélix	CICESE*	Cuenca Wagner	Raquel Negrete* Juan Contreras* Antonio González*	Efraín Gómez* Florian Neumann
2018	Falkor	SOI CICESE* MBARI UABC	Cuenca Pescadero	Robert Zierenberg Raquel Negrete* Dave Caress Ronald Spelz	Florian Neumann Néstor Ramírez
2019	JOIDES Resolution	IODP CICESE* UNAM	Cuenca de Guaymas	Raquel Negrete* Ligia Pérez Cruz	Florian Neumann Manet Peña Salinas
2021	Falkor	SOI CICESE* MBARI UABC CALTECH	Cuencas Pescadero Farallón Carmen	Dave Caress Raquel Negrete* Ronald Spelz Victoria Orphan	Karina Fuentes Isabela Macías Luis Ángel Vega Marc Juliá Florian Neumann
2021	Revelle	WHOI CICESE* UABC	Cuenca Guaymas	Anna Michel Raquel Negrete* Ronald Spelz	Karina Fuentes Florian Neumann
2021-2022	Sarmiento de Gamboa	CSIC CICESE*	Antártica	Raquel Negrete*	Karina Fuentes Florian Neumann





La realización de estas campañas se basó en tres factores fundamentales: las capacidades e infraestructura de la plataforma oceanográfica, los instrumentos de medición y el financiamiento necesario. Este último factor representa el mayor reto de la exploración marina en México porque el costo de este tipo de expediciones es muy elevado; granjear este reto solo ha sido posible gracias a colaboraciones y proyectos conjuntos con instituciones académicas extranjeras.



La ciencia prospera y florece cuando los grupos científicos están compuestos de personas con la más diversa experiencia y con los recursos para hacer de esta exploración una realidad. El LTF cuenta con redes de investigación con instituciones académicas de primera línea: Instituto para la Investigación de los Océanos, Instituto de Investigación del Acuario de la Bahía de Monterey, Instituto Oceanográfico Woods Hole, Caltech, Scripps, el Real Observatorio de la Armada y las universidades de Oregon y California, en San Diego y Davis.

El CICESE posee el buque oceanográfico *Alpha Hélix*, a bordo del cual se realizó la campaña de 2015 a Cuenca Wagner financiada por el proyecto institucional del Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica. Sin embargo, esta plataforma restringe la viabilidad de futuras campañas de flujo de calor a zonas someras por carecer de posicionamiento dinámico. Adicionalmente, el LTF tiene a su resguardo una sonda de flujo de calor tipo arco de violín de siete metros con 22 termistores, para medir la temperatura en el fondo marino y las propiedades térmicas del sedimento; con estos datos, se obtiene el gradiente térmico y el flujo de calor.

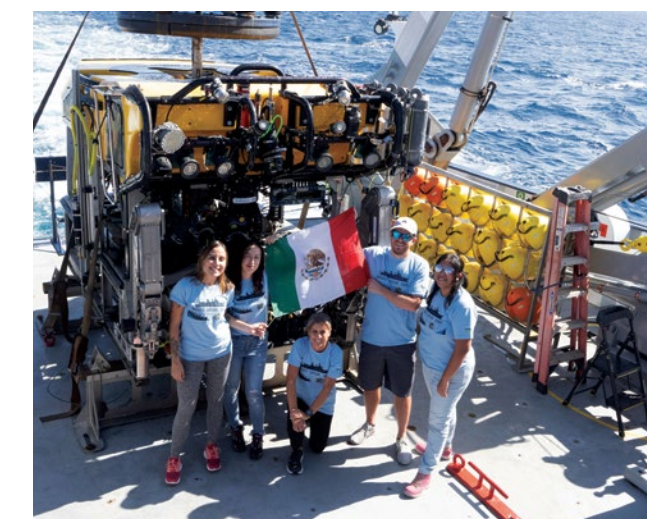
Esta sonda ha sido utilizada en dos campañas hasta el momento: 2015 a Cuenca Wagner, Golfo de California, y en 2022 a Cuenca Powell, Antártica.

El trabajo realizado en el LTF ha demostrado la posibilidad de extraer energía de las profundidades del océano en este momento. Para lograrlo, primero es fundamental tener una sólida comprensión de la cantidad de energía que liberan estas estructuras geológicas y la naturaleza de su sistema de tuberías.

También es necesario evaluar el impacto de la extracción de calor en los nichos ecológicos altamente especializados que florecen a su alrededor. Este es precisamente el objetivo a largo plazo del laboratorio: sumarse a la investigación que busca superar los desafíos de extraer energía de las profundidades del mar.

Teniendo en cuenta el rendimiento energético de estos sistemas geológicos; los riesgos valen la pena, especialmente cuando se considera que la energía geotérmica en tierra es costosa y no del todo limpia.

* Investigadora por México-Conahcyt, adscrita a la División de Ciencias de la Tierra.



Cómputo científico

► Cómo se desarrolló el cómputo científico en el CICESE

Jazmín Félix*

La computación ha acompañado al CICESE desde su creación, hace 50 años. Mientras se integraban divisiones y se adquirían equipos para hacer ciencia, el centro también accedía a sus primeras computadoras, impulsando el desarrollo tecnológico no solo en el sector académico, sino también en el gubernamental y en la industria privada.

La adquisición de los primeros dos equipos de cómputo se remonta a 1972 y 1973. Con la aprobación del primer proyecto, el centro dispuso de un presupuesto de 8.1 millones de pesos. Con este recurso, además de rentar oficinas, comprar diversos equipos y acondicionar instalaciones, se adquirió una Wang con 1.5 Kb de RAM, impresora, graficador y una unidad de casete correspondiente a 15 minutos de cinta. La pantalla de despliegue era de una sola línea. Su despliegue visual era de bulbos que alojaban en sus circuitos los componentes de los números.

La segunda fue una Nova Jumbo 1200 de tiempo real que tenía 16 Kb de Ram, disco duro de 1 Mb, discos removibles de 1.6 Mb, unidad de cinta magnética, lectora rápida de cinta perforada y tarjeta digitalizadora. Cuando se apagaban estas máquinas, sus datos en memoria quedaban intactos debido a que eran de ferrita, según recuerda el M. en C. Salvador Castañeda Ávila.

A estas máquinas se sumó más equipo científico y de cómputo donado en 1973 por la Universidad de Arizona a través del doctor Harold Johnson, quien llegó al naciente centro para dirigir el segundo proyecto que aprobó el Conacyt. De esta manera el CICESE accedió a sus primeros equipos de cómputo y los operó en apoyo a la investigación de ciencia básica.



Una de las investigaciones que destacaron en los inicios del entonces Centro de Cómputo Electrónico, creado en 1975, fue el proyecto Plan Nacional de Telecomunicaciones Rurales, servicio solicitado por la entonces Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) al CICESE hacia 1977.

Al respecto, el maestro Castañeda Ávila, recordó que esta colaboración significó un parteaguas para el CICESE, pues se logró expandir el equipo al contratar talentosos investigadores de diversas nacionalidades y ramas de las telecomunicaciones, donde confluyeron expertos en cómputo, redes y telefonía.

En 1977 el centro se convirtió en la primera institución de Latinoamérica en adquirir una minicomputadora con memoria virtual y tiempo compartido, una Prime 400 Wire Wrap de 450 mil dólares. Meses después arribó una Prime 350.

Con ambas máquinas, ese año el CICESE operó la primera red de cómputo en Latinoamérica, mediante un sistema propietario Prime Net-Token Pass que conectó la Prime 400 con la Prime 350, lo que permitió compartir archivos, utilizar los discos de una y otra máquina y acceso remoto. Un año después, en 1978, se realizaron los primeros enlaces de acceso remoto en el CICESE.

Utilizando las Prime, el CICESE estableció en 1977 un convenio con el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) y la CFE, a través del cual se diseñó, construyó e instaló en Cerro Prieto la primera red sísmica de telemetría digital que enviaba los datos a un centro de procesamiento en Ensenada.

Este hecho fue trascendental para el CICESE, pues se posicionó como la institución líder en el estudio de los sismos en el noroeste del país, dotó a la región de capacidad de reacción ante un fenómeno geológico, y puso una red de cómputo al servicio de las telecomunicaciones, de la academia y la sociedad. El diseño de esta red ganó el Premio Nacional de Telecomunicaciones Indetel 1979.

La década de los 80 significó una transición que pasó a reforzar el Centro de Cómputo Electrónico. La crisis económica desatada en México pegó al CICESE y se hicieron recortes en todos los departamentos, incluidos los servicios de cómputo. Salvador Castañeda compartió que el entonces director del CICESE, Saúl Álvarez Borrego, lo llamó a su oficina para solicitarle una alternativa al mantenimiento de los equipos, pues el servicio anual costaba alrededor de 100 mil pesos y lo brindaba una empresa de San Diego.



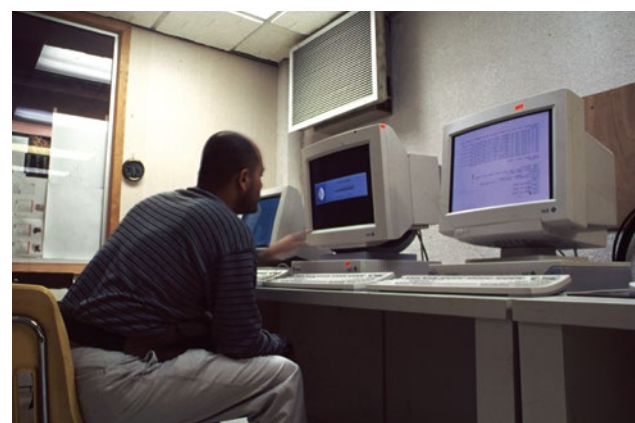
Para resolverlo, decidieron integrar y capacitar a un grupo de personas que pudieran encargarse de este trabajo, y fue así como se creó el servicio de mantenimiento, con el que el CICESE logró ahorrarse miles de pesos a partir de ese año.

A la par de este reto, el centro dio un gran salto en equipamiento, pues en 1986 se adquirió la primera estación de trabajo de Latinoamérica. Estas máquinas permitieron ser operadas por una sola persona, ofreciendo una mayor capacidad de almacenamiento y procesamiento que aprovechó el mundo científico, facilitando la labor de investigadores, técnicos e ingenieros.

El CICESE fue pionero al operar estas máquinas de vanguardia, con una Apollo Domain con red Token Ring de IBM y un procesador Motorola 68020. Uno de los ofrecimientos de estos aparatos fue el famoso sistema operativo Unix, que ponía en el escritorio del usuario toda la potencia de una minicomputadora.

En 1987, el CICESE incorporó la primera red de estaciones de trabajo enlazadas a través de Ethernet.

Dos años después, en 1988, el centro se convirtió en la primera institución mexicana en albergar un servidor Sun, Server 3/260, además de las primeras estaciones de trabajo de Sun Microsystems, adquiridas a la Universidad de Stanford. Además, personal del Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones y del propio Centro de Cómputo diseñaron e instalaron en 1989 la primera red dorsal de fibra óptica en una institución académica mexicana.



En ese momento el mundo comenzaba a conectarse a través de internet, y gracias a esta red dorsal el CICESE se enlazó con la red de la UNAM a través del Instituto de Astronomía en Ensenada (Observatorio Astronómico Nacional), convirtiéndose así en la tercera institución del país en conectarse a internet. Posteriormente el centro obtuvo IP y dominio "cicese.mx".

Estas tecnologías de fibra óptica y conectividad a internet estaban a la par de las que se desarrollaban en instituciones académicas de Estados Unidos y Europa.

Así, el cómputo se ha desarrollado a la par del CICESE, y la institución ha sabido utilizar esta herramienta en medio de un contexto de crisis económica.

A finales de los noventa, ya habían pasado casi treinta años desde la adquisición de las primeras máquinas utilizadas para procesar datos. El salto de las minicomputadoras a estaciones de trabajo, servidores y conexión a internet, permitió desarrollar aquí el cómputo como poderosa herramienta para hacer ciencia.

*Integrante del Departamento de Comunicación.

► Supercómputo y cómputo de alto desempeño

Jazmín Félix*

En cuestiones de cómputo, el CICESE estuvo a la vanguardia desde finales de los años 70 y en los 80 en que adquirió poderosos equipos Prime, Apollo y Sun, los puso en red y accedió anticipadamente a la red mundial. En términos llanos, convirtió así las capacidades de cómputo en herramientas para hacer ciencia.

Pero con la llegada de las supercomputadoras a México en los 90, hubo que adecuar todo esto porque el advenimiento de estos equipos significó un cambio radical en la manera de hacer investigación.

La primera supercomputadora del mundo se lanzó para el gobierno, la academia y la industria en los años sesenta, con el fin de realizar operaciones científicas a gran escala. Esta máquina fue la IBM 7030, mejor conocida como *Stretch*, que costó alrededor de 13 millones de dólares. Fue la más rápida hasta que se introdujo la CDC 6600 al mercado, principalmente utilizada para investigación de física nuclear.

El verdadero ascenso del supercómputo fue en los años setenta, cuando el creador de esta máquina, Seymour Cray, dejó CDC para fundar su empresa, Cray Research (hoy Cray Inc.), la cual dominó el mercado de la época con sus diseños y la capacidad de sus máquinas.

México entró a la era del supercómputo casi 20 años después, en 1991, al instalar la UNAM la Cray Y-MP/432, primera en Latinoamérica.

En esos años en el CICESE se gestaba el grupo de Ciencias de la Computación en Física Aplicada (1994), emergían líneas de estudio de computación paralela y redes neuronales (1995), y al año siguiente, para tratar de entender el cambio climático, comenzaron a hacer investigación sobre reconocimiento de patrones de información en sistemas colaborativos.

También ese año, el grupo Canek, conformado por los investigadores Antoine Badán (†), Julio Candela (†), José Luis Ochoa (†), Julio Sheinbaum, Paula Pérez y Manuel López, comenzó a realizar observaciones oceanográficas en el Caribe mexicano y el Golfo de México, y requerían hacer modelación matemática. Lo mismo en Ciencias de la Tierra, principalmente en los grupos de Geofísica y de Sismología.

Este trabajo académico implicaba utilizar enormes capacidades de cómputo, justo el tipo de requerimientos de operaciones matemáticas, modelación y simulación que ofrecían las supercomputadoras.

Ante la urgencia de estar a la vanguardia y sumar eficacia y rapidez a la labor de sus científicos, en 1997 el CICESE se convirtió en la segunda institución mexicana en tener una supercomputadora, al adquirir una Silicon Graphics Origin 2000.

Otro de los hechos que obligaron al centro a incrementar su capacidad de cómputo fue la creación de la Corporación Universitaria para el Desarrollo de Internet (CUDI), que surgió en 1999 ante la necesidad y la tendencia mundial de las instituciones de trabajar de manera conjunta y compartida, y en cuya fundación participaron el CICESE y otras siete instituciones.





De esa manera la CUDI desarrolló la red Internet 2 para el uso exclusivo de la academia, pues en ese momento el internet que ya conocíamos estaba saturado con usuarios comerciales, y las universidades y los centros de investigación requerían más capacidad, así como una red que no fuera compartida.

A través de su incorporación a la CUDI, el centro accedió al Internet 2 académico y al cómputo de alto desempeño, que recién comenzaba.

Pero adquirir equipo de cómputo en un entorno de recesión económica no era sencillo. Resultó forzoso compartir recursos para optimizarlos y trabajar de manera colaborativa: primero formando clústeres al interior de las instituciones y luego conectando equipos a distancia a través de *grides*, es decir, redes conectadas a través de internet.

Para ampliar la colaboración académica interinstitucional, en 2001 el CICESE realizó la primera videoconferencia a través de Internet 2, y ya en el nuevo milenio, el centro continuó reforzando su capacidad al adquirir su segundo equipo de supercómputo, una Sun Fire 4800 de ocho procesadores y cinco estaciones de trabajo, cuya conexión mediante una PC dio origen al primer clúster denominado Tribus.

Para el año siguiente los equipos de cómputo que estaban dispersos por el campus fueron reunidos en un solo lugar, con la construcción del edificio de Telemática. Ya en 2006 se integró un segundo clúster llamado Cataviña, lo que incrementó la capacidad de cómputo de alto desempeño.

Durante los primeros años de la computación en el CICESE, predominaron el aprendizaje, los riesgos y la inventiva. Antes la computación era una disciplina en desarrollo y hoy se ha extendido a cada edificio, departamento y oficina del centro.

Y pensar que todo empezó con un par de investigadores a cargo de una Prime 400 Wire Wrap de 450 mil dólares que tenía 512 Kb de RAM y cuya tarjeta madre estaba alambrada a mano; prácticamente un producto de laboratorio.

*Integrante del Departamento de Comunicación.



La inundación de 1978

Hace casi 50 años, uno de los edificios donde se ubicaba el Centro de Cómputo Electrónico del CICESE estuvo a punto de inundarse y perder millones de pesos en equipo e información. La reacción inmediata del personal evitó una tragedia que pudo significar el extravío de meses y años en investigación.

Las lluvias que en marzo de 1978 afectaron a Baja California, sumieron a Ensenada en un lodo de crisis. Cientos de personas sufrieron la pérdida de sus hogares con las inundaciones que arreciaron en el puerto. Entre las zonas afectadas estuvo la avenida Espinoza, ubicada en la colonia Obrera, donde se situaba el CICESE, y allí, el Centro de Cómputo Electrónico, en el local marcado con el 873.

El aluvión se llevó el parque deportivo Antonio Palacios y las viviendas fueron cubiertas por el aguacero.

Ante este escenario, los investigadores decidieron desarmar computadoras y herramientas de trabajo para subirlas al segundo piso, rescatándose equipo de cómputo y avances en investigación, como fue el caso del proyecto Plan Nacional de Telecomunicaciones Rurales.

Jazmín Félix

Estudios en biología

► Conservación: el papel del CICESE en los Planes de Manejo de Áreas Naturales Protegidas

Jazmín Félix*

El CICESE ha sido fundamental en la creación de programas de manejo de ANP de Baja California, informes técnicos y proyectos de conservación y manejo.

Su presencia en consejos asesores, la investigación mediante experimentos y proyectos enfocados en la recuperación y conservación de especies y hábitat natural y, por supuesto, su aportación de capital humano, al integrarse egresados del centro a grupos de protección y reserva, demuestran que el interés y el actuar del CICESE en temas vitales como lo son estas zonas, es auténtico y necesario, además de una obligación como institución científica y formativa.

De acuerdo con Horacio de la Cueva, investigador del Departamento de Biología de la Conservación, el CICESE ha estado involucrado en al menos cuatro programas de los 19 que han establecido los gobiernos federal y estatal, además de aportar el liderazgo y la contribución de estudiantes y egresados de posgrado que han abonado a esta iniciativa.





La labor del CICESE en el tema de conservación se remonta a finales de los noventa, al formar parte del proyecto de reintroducción del cóndor de California, en la Sierra de San Pedro Mártir (SSPM), decretada como Área Natural Protegida desde 1947.

Esta ave, presente en Baja California y California, dejó de volar en México en 1939 y en la década de 1980 se convirtió en una población reducida -al punto de considerarse extinta- en un área de California, de acuerdo a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). En 2010, México clasificó al cóndor como una especie en peligro de extinción.

La primera reintroducción de estas aves (donde tuvo presencia el CICESE) fue en 2002 con seis cóndores de California en la SSPM; posteriormente se introdujeron de cuatro a cinco ejemplares al año. Para 2010 ya habitaban la zona 25 cóndores.

Una de las grandes aportaciones del CICESE fue formar parte de la construcción del aviario de aclimatación en la SSPM (previo al inicio del proyecto) donde permanecería la especie desde su arribo y hasta su liberación.



El CICESE también contribuyó en la introducción, revisión y seguimiento del *Programa de Conservación y Manejo del Parque Nacional Sierra San Pedro Mártir* (primera edición, 2006), de la Conanp, con un equipo de investigadores integrado por Ernesto Franco Vizcaíno, Horacio de la Cueva Salcedo, Richard A. Minnich, Celerino Montes y Stephen Bullock.

Su participación abonó a la normatividad de un parque de vasta riqueza biológica, cuna de proyectos e investigaciones de diversas instituciones, entre ellas el CICESE.

El centro también participó, en 2011, como consejero titular para el ámbito marino y como consejero suplente para el terrestre, en el *Programa de Manejo de la Reserva de la Biósfera de Isla Guadalupe*, decretada como ANP desde 2005.



Antes de eso, a principios de 2000, este centro de investigación coordinó, junto a otras instancias, acciones para preservar la Isla Guadalupe, entre las que destacó el *Taller sobre la restauración y conservación de Isla Guadalupe*, que consistió en la recopilación de información técnica y científica para la elaboración de un diagnóstico ambiental y un plan de acción de restauración y conservación de la isla.

El CICESE también se ha involucrado a través del estudio del gran tiburón blanco, pues Isla Guadalupe es considerada un santuario para la especie. Un grupo coordinado por el doctor Oscar Sosa Nishizaki realizó monitoreo, observaciones de campo y marcaje satelital, lo que ayudó a la creación del *Manual de buenas prácticas para la observación del tiburón blanco* de la Conanp. El CICESE también contribuyó a través del proyecto *Establecimiento de la línea base para el monitoreo de la distribución y abundancia del tiburón blanco en el área marina de la Reserva de la Biosfera Isla Guadalupe*.

Para la creación del *Programa de manejo área de protección de flora y fauna Islas del Golfo de California* (primera edición, publicada en 2000) el CICESE también participó como consejo técnico asesor. El grupo fue integrado por Stephen Bullock Runquist, Luis A. Delgado Argote, Horacio de la Cueva Salcedo y Erick Mellink Bijtel.

Según la Conanp, en los límites de las Islas del Golfo de California hay 900 islas, la mayoría sin nombrar, que fueron decretadas como ANP en 1978 y se ubican frente a Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa.

Entre los proyectos realizados por el CICESE en el Golfo de California, destaca el monitoreo del tiburón ballena en Bahía de los Ángeles y el trabajo de investigadores del CICESE Unidad La Paz con el seguimiento de ballena azul, lobo marino -entre otras especies de pinnípedos- y aves marinas, como la pardela mexicana y la fragata. Asimismo, la unidad encabezó en 2017 el análisis de riesgo de colisión de fauna silvestre con aeronaves en el Aeropuerto Internacional de La Paz, por parte del grupo de Aeroecología Marina.



El CICESE formó parte en la creación del Programa de manejo *Parque Nacional Constitución de 1857*, donde ha encabezado investigaciones como el efecto del cambio climático sobre la diversidad y distribución de artrópodos terrestres de Baja California, a través de la recolección de muestras en Sierra de Juárez, estudio de la doctora Sara Fadia Ceccarelli.

La prevención y manejo de incendios forestales en zonas serranas -como Sierra de Juárez y de San Pedro Mártir- es otro de los temas en el cual el CICESE se ha involucrado. A finales de los noventa, dos investigadores y un técnico del centro, además de otro científico de la Universidad de California, recomendaron al gobierno federal que abandonara la política de supresión de incendios forestales.

Los doctores Rubén Vizcaíno, Horacio de la Cueva, Celerino Montes y Richard Minnich, propusieron prevenir el fuego, y en caso de presentarse, dejar que se extendiera en lugar de suprimirlo -siempre y cuando no atentara contra vida y propiedad-, para que la naturaleza hiciera su trabajo, pues los incendios resultan indispensables para el funcionamiento de los sistemas mediterráneos.

Estas observaciones, junto a acciones realizadas en conjunto por instancias gubernamentales, brindaron a las dependencias un norte en el manejo del fuego. "El CICESE ha estado presente en los planes de manejo en la medida que nos lo han permitido, es parte de nuestra misión y lo sigue siendo", destacó Horacio de la Cueva sobre el papel del centro en la creación de planes de manejo.

La labor del CICESE continuará en el vasto territorio de Baja California a través de proyectos de investigación y su participación en iniciativas para conservar las áreas naturales, tal y como lo ha hecho durante sus primeros 50 años.

*Integrante del Departamento de Comunicación.

“

El aviario para el cóndor de California

La construcción del aviario de aclimatación en la Sierra de San Pedro Mártir (SSPM) para la conservación del cóndor de California, previa a la reintroducción del ave en 2002, fue un trabajo agotador, donde científicos de diversas instituciones -como el CICESE-, se ensuciaron las manos. Horacio de la Cueva recordó parte de la dinámica y un momento que vivieron aquellos años.

Entre todos subían la mezcladora, el montón de piezas que conformarían la gran jaula. Ellos mismos cavaron la zanja en donde se colocaron los cimientos. En una ocasión, al bajar de SSPM, el grupo encontró a unas personas cuyo vehículo tenía un neumático pinchado. Decididos a ayudarles, consiguieron refacciones y se pusieron manos a la obra; De la Cueva recuerda el termómetro descender, creyó que él, Mike Wallace -del Zoológico de Los Ángeles-, y quienes los acompañaban, morirían de frío. Al final la crisis pasó, ayudaron a los desconocidos y regresaron íntegros a la sierra. El aviario no se construiría solo.

Jazmín Félix

► El surgimiento de las ciencias ómicas y la bioinformática en el CICESE

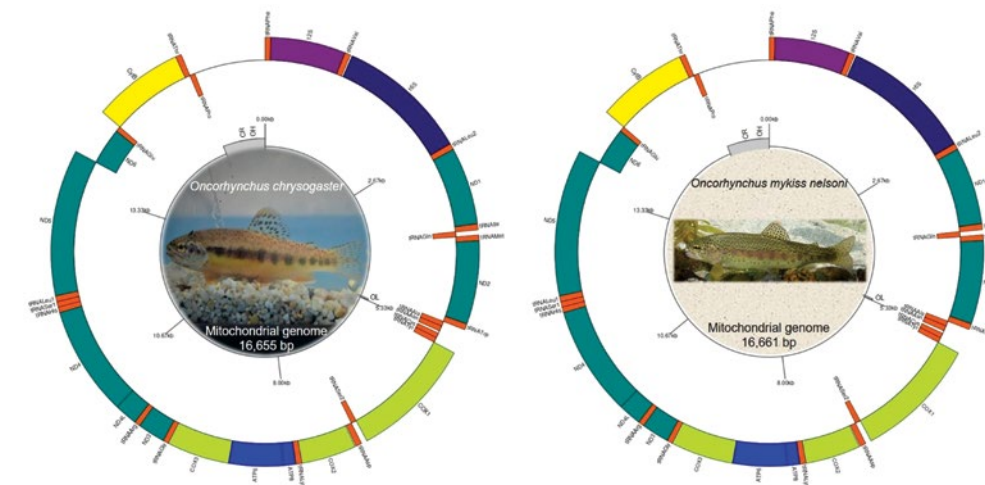
Miguel Ángel del Río Portilla y Fabiola Lafarga De la Cruz*

A partir de 1990, como resultado del proyecto del genoma humano, se han desarrollado una gran cantidad de herramientas de análisis molecular que permiten estudiar diferentes elementos de las especies a partir de su secuencia de ADN. Este tipo de herramientas se han englobado con el término ómicas.

Para 2003 se había pasado ya del análisis de una sola molécula al de un número extenso de moléculas al mismo tiempo. Por ello, cuando se habla de genómica se refiere a la parte de la biología que estudia el contenido y la secuencia de ADN de un organismo, es decir, a todo su genoma.

Del ADN se sintetizan mensajeros de ácido ribonucleico (ARN) y de estos se sintetizan las proteínas (traducción). Por lo que, si se estudian a los mensajeros de ARN, se habla de transcriptómica.

De manera similar se puede utilizar el sufijo *ómica* para referirse a diferentes ramas de la biología: las que tienen que ver con las proteínas, proteómica; los metabolitos, metabolómica; el marcado de genes, epigenómica; lípidos, lipidómica; incluso al estudiar varias especies al mismo tiempo: metagenómica y metatranscriptómica.



Estos estudios se han acompañado por la creación paralela de herramientas computacionales que se han desarrollado con la bioinformática, la cual emplea tecnologías de la información para organizar, analizar y distribuir información con la finalidad de responder preguntas complejas formuladas en el terreno biológico.

En este tema, el CICESE se desempeña a través de la interdisciplina. El desarrollo de la bioinformática en esta institución inició en 2002 por el trabajo de doctor Carlos Alberto Brizuela Rodríguez, investigador del Departamento de Ciencias de la Computación. Actualmente Brizuela trabaja proyectos como *Identificación y diseño computacional de péptidos antimicrobianos* y *Algoritmos para biocomputación, grafos e inteligencia artificial*.

A partir de ello, en el CICESE se han estudiado diferentes especies con herramientas moleculares para relacionarlas desde un punto de vista ecológico, genético, taxonómico e incluso desde el punto de vista meramente computacional.

A esta área se han incorporado otros investigadores de Ciencias de la Computación, como el doctor Israel Marck Martínez Pérez, quien trabaja con modelos de cómputo celular para el diseño de circuitos lógicos.



El área de genética de poblaciones y ecología ha sido investigada por el doctor Ayayácatl Rocha Olivares, investigador de Oceanografía Biológica, a través del proyecto *Estructura y genética poblacional de la sardina monterrey*. Adicionalmente ha trabajado algunos aspectos de genómica de las almejas de sifón, generosa y globosa.

Es de gran importancia mencionar el desempeño y el desarrollo científico de las mujeres del CICESE. Las *Omic's Girls* son un grupo de investigadoras de gran calidad científica y humana que han transmitido a diferentes generaciones de estudiantes de licenciatura y posgrado la pasión por esta disciplina.

Este grupo interdisciplinario está conformado por María Clara Arteaga Uribe (Biología de la Conservación), Asunción Lago Lestón (Innovación Biomédica), Clara E. Galindo Sánchez (Biotecnología Marina) y Fabiola Lafarga De la Cruz (Acuicultura) del CICESE, quienes colaboran estrechamente con Ivone Giffard Mena, Yolanda Schramm Urrutia y Alicia Abadía Cardoso de la Facultad de Ciencias Marinas de la UABC; así como Raquel Muñoz Salazar de la Escuela de Ciencias de la misma universidad, y Alejandra Prieto Davo, de la UNAM Campus Sisal en Yucatán.

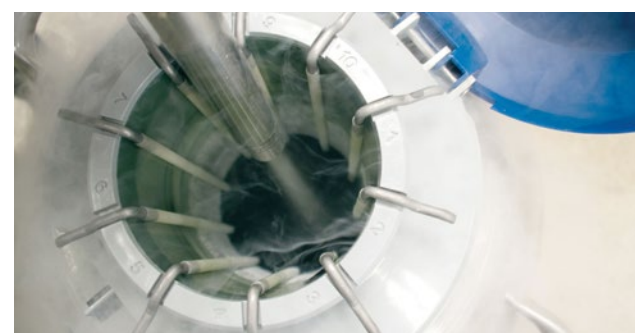
Este grupo ha desarrollado diversos proyectos de investigación, como *Efectos de las variaciones ambientales sobre los moluscos: aproximación genómica y transcriptómica, Análisis genómicos y moleculares e Impactos biológicos de la variabilidad térmica y clima extremo en ectotermos marinos bentónicos: aptitud biológica, potencial de adaptación y plasticidad fenotípica*, por mencionar algunos.

Además a través del proyecto CIGoM se involucró, entre otras aproximaciones, el uso de herramientas ómicas para el estudio de los efectos de la industria del gas y el petróleo.

Al ser el CICESE sede del Subnargena, cuya operación está a cargo de la doctora Carmen G. Paniagua Chávez, se realiza la caracterización genética de muestras de organismos acuáticos de interés comercial y ecológico, mismos que en él se almacenan.

En este contexto, en 2009 se formó la red de Recursos Genéticos Acuáticos (RGA) conformada por investigadores de diversas instituciones académicas del país, con el objetivo de desarrollar técnicas para el análisis genético de las especies acuáticas importantes para la seguridad alimentaria y la biodiversidad de México.

Solo existía un problema: la mayoría de las especies eran poco estudiadas y se carecía de información genética para hacer los análisis. Por ello, algunas de las especies acuáticas han sido llamadas organismos no modelo. En contraste, los organismos modelo son aquellos que han sido ampliamente estudiados, como el ratón y la mosca de la fruta.



Antes de la llegada de las ómicas era muy difícil realizar el análisis genético de este tipo especies poco estudiadas. Sin embargo actualmente, mediante el análisis genómico y, de manera particular, con la secuenciación de segunda generación o secuenciación masiva, se han obtenido los genomas mitocondriales (mitogenomas) de diferentes especies de peces, elasmobranchios, moluscos y corales.

De esta área se encargan los investigadores Fabiola Lafarga De la Cruz y Miguel Ángel del Río Portilla, quienes, además de los mitogenomas mencionados, han obtenido otros marcadores moleculares como los denominados polimorfismos de un solo nucleótido (SNP, en inglés). Estos servirán como base para los análisis genéticos poblacionales requeridos en la caracterización genética de las especies a conservar en el Subnargena. Por supuesto, este logro se dio en colaboración con investigadores de otras instituciones.

Conforme pasa el tiempo y con el desarrollo de nuevas herramientas computacionales, como el aprendizaje de máquina (comúnmente llamada inteligencia artificial), se crean nuevos instrumentos de análisis y procesamiento.

Esto representa un gran desafío para el CICESE, ya que los requerimientos de infraestructura, personal humano capacitado y recursos financieros son muy elevados; y los recursos destinados para investigación a nivel nacional e internacional son muy competidos.

La capacitación de estudiantes, técnicos e investigadores en el área de bioinformática ha sido una prioridad en el CICESE. En 2011, como parte de la red RGA, se impartió el curso teórico práctico "Herramientas genómicas aplicadas a organismos acuáticos" por Cristian Gallardo Escárte, ex alumno del posgrado en ciencias en Acuicultura.

Posteriormente, con la incorporación de nuevos investigadores a distintos departamentos del CICESE, en 2014 se inició una serie de talleres bioinformáticos. Estos se impartieron año tras año por seis periodos, pero se vieron suspendidos por la pandemia de la covid-19.

A nivel mundial, las herramientas genómicas tuvieron una gran auge en la obtención del genoma del virus SARS-CoV-2, y han contribuido en el seguimiento de esta enfermedad y de sus virus derivados.

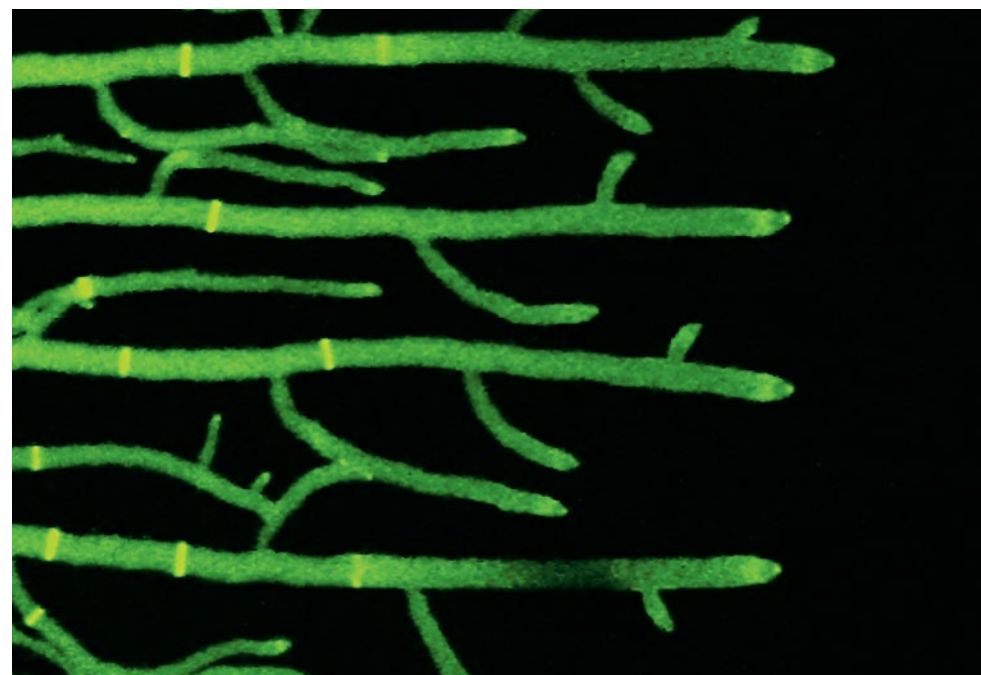
*Investigadores del Departamento de Acuicultura.

► Contribuciones al estudio de *Neurospora crassa*

Jazmín Félix*

“Lo que hacen es ciencia de primera. Punto”. Así describió el doctor Salomón Bartnicki el trabajo que realiza el grupo de investigación del CICESE respecto al estudio del hongo filamentoso *Neurospora crassa*, tras recibir en 2018 el Premio B.O. Dodge, por sus excepcionales contribuciones al tema.

Este premio es el máximo reconocimiento entregado por la comunidad académica internacional que se dedica a estudiar este organismo modelo, lo que volvió al grupo del CICESE, integrado por el investigador Salomón Bartnicki García y las investigadoras Ernestina Castro Longoria, Meritxell Riquelme Pérez y Rosa Reyna Mouriño Pérez, uno de los mejores a nivel mundial que estudian *Neurospora*.



En su hábitat natural, este organismo crece en lugares tropicales y subtropicales, también en materia tropical que muere después de un incendio. Investigadores de todo el mundo se dedican a estudiar al hongo *Neurospora crassa* porque es un organismo ideal para trabajar en el laboratorio, su genética es bien conocida y se manipula con facilidad; se hacen cruces, mutaciones y se conoce la secuencia de ADN.

Su estudio se remonta a 1958, cuando George Beadle y Edward Tatum ganaron el Premio Nobel por experimentar con genética mediante cruces de mutantes *Neurospora*, lo que los llevó a descubrir que los genes codifican proteínas. Asimismo, encontraron que la información de una célula se almacena en ADN, el cual contiene los datos para hacer proteínas. Estos hallazgos propusieron un vínculo directo entre genes y las reacciones enzimáticas.

En el caso del CICESE, el estudio de este hongo inició en 2004, con enfoque en la generación y uso de cepas, su crecimiento, la forma en que las células se extienden por el apéndice y la manera en que dicho desarrollo es regulado por la interacción de genes y proteínas. Con esto, el equipo ha sido pionero en el estudio *in vivo* de la dinámica de microtúbulos y actina en hongos filamentosos.

El resultado ha sido más de una cincuentena de publicaciones en revistas científicas, cientos de presentaciones orales y muestras de carteles en eventos científicos en todo el mundo, además de ser una gran fuente de tesis de maestría y doctorado.

El CICESE comenzó a estudiar este hongo poco después de la creación de la Unidad de Biología Experimental y Aplicada (2003), al arribar al centro Salomón Bartnicki. Tras una vida académica en la Universidad de California Riverside y pese a tener la oportunidad de continuar su labor como profesor emérito en dicha institución, Salomón Bartnicki decidió regresar a México para integrar un grupo especializado en microbiología.

De 1995 al 2000 se dedicó a gestionar con el Conacyt la creación de la agrupación, logrando que se aprobara la iniciativa que derivó en el apoyo de un millón de dólares para la adquisición de equipo especializado. Tocó las puertas de varios centros de investigación, pero fue el CICESE la institución que lo recibió, cuando el doctor Javier Mendieta era director general.

En 2006 se convirtió en la División de Biología Experimental y Aplicada (DBEA), y el estudio de *Neurospora* se consolidó con gran esfuerzo. El grupo de investigadores ganó el Premio B.O. Dodge 2018 y Bartnicki obtuvo la Medalla De Bary en el mismo año por la Asociación Internacional de Micología. Además, se convirtió en el primer investigador emérito en la historia del CICESE. En 2019 las doctoras Rosa Reyna Mouriño Pérez y Meritxell Riquelme fueron nombradas Miembro Distinguido (*Fellow*) por la Sociedad Americana de Microbiología (MSA, por sus siglas en inglés). Este reconocimiento es uno de los más importantes en dicha sociedad científica y busca enfatizar contribuciones a la ciencia y al servicio de la sociedad.



En 2021, el primer edificio de la DBEA fue nombrado Dr. Salomón Bartnicki García, gracias a sus aportes al conocimiento y a la institución, los cuales desde hace casi 20 años cosechan investigaciones de vanguardia.

*Integrante del Departamento de Comunicación.



Los primeros años de Microbiología no fueron sencillos. El pequeño equipo de trabajo hacía investigación en una reducida casa móvil que estaba ubicada en el estacionamiento de la Dirección General del CICESE. Pese a las limitantes de trabajar de manera precaria, había ganas de hacer ciencia e hicieron milagros con lo que tenían. En palabras de Rosa Mouriño para una entrevista en 2018, en aquella casa móvil “apenas cabía el equipo”, pero la pasión y las ganas de hacer investigación sobaban, y hoy son uno de los grupos más consolidados de microbiología que abordan importantes proyectos sobre el hongo filamentoso.

Al fin, luego de cuatro años pudieron reubicar su equipo en el edificio de la DBEA, donde hasta ahora se encuentran.

Jazmín Félix

Ciencia de frontera

► Pedro Ripa: aportaciones y trascendencia

Francisco Javier Beron-Vera* y Emilio Beier**

Pedro Ripa fue un destacado científico del campo de la oceanografía física que se desempeñó como investigador del CICESE desde la década de 1980 hasta principios de 2000.

Su labor se centró en el estudio de la dinámica de los océanos. Sus contribuciones fueron trascendentales para la ciencia y lo convirtieron en un referente para la oceanografía física.

Una rama importante de la obra de Pedro Ripa fue la de utilizar las observaciones oceanográficas históricas para entender la dinámica y termodinámica del Golfo de California.

Lo hacía utilizando dos herramientas. Una desarrollada por él mismo mediante modelación matemática, y la otra, más filosófica, aplicada según las enseñanzas del monje vietnamita Thich Nhat Hanh.

Según estas enseñanzas, había que escuchar los susurros del bosque, y Pedro lo hacía muy bien; escuchaba esos susurros que indican las observaciones oceano- gráficas históricas, mientras que para el resto de los mortales no se escuchaba nada más.

Así fue como logró desentrañar la dinámica y termodinámica principal del Golfo de California que dominó toda la oceanografía regional en la década de 1990.

Pedro fue pionero del modelado matemático de los océanos en México y tenía una particular debilidad por su formación en física.

La mecánica hamiltoniana, la cual relaciona leyes de conservación con simetrías de un sistema dinámico, es segunda naturaleza para cualquier físico. Pedro contribuyó a desenmascarar la estructura hamiltoniana a partir de un modelo elemental del océano, haciendo uso de ella para entender el comportamiento del sistema desde el punto de vista básico.



Antes de proceder con implementaciones de situaciones concretas, es fundamental hacer esto pues aumenta las razones para creer que el modelo va a responder correctamente cuando se incluyen forzamientos de diferentes tipos.

Se trata del modelado elemental de los océanos basado en una extensión de las ecuaciones de aguas someras para fluidos rotantes o "ecuaciones de marea de Laplace", como Pedro insistía en llamarlas.

Aquí es pertinente abrir un paréntesis para explicar por qué las llamó así, ya que Pedro invirtió tiempo en ello hasta incluso escribir un libro sobre el asunto. La razón para llamarlas "ecuaciones de marea de Laplace" se debe a que hay una fuerza asociada a la rotación del planeta, la llamada fuerza de Coriolis, que defleca el movimiento hacia la derecha en el hemisferio norte y hacia la izquierda en el hemisferio sur.

Esto tiene importantes consecuencias para el flujo de fluidos geofísicos, como las inestabilidades baroclínicas, debido a contrastes de temperaturas en presencia del efecto de Coriolis.

Resulta que fue Laplace, casi un cuarto de siglo antes de que el mismo Coriolis naciera, el que introdujo esta fuerza para el estudio de las mareas. Lo interesante es que Laplace lo hizo mediante el uso de una especie de principio variacional de Hamilton, lo que nos devuelve al tema de este texto.

En la década de 1990, Pedro estaba estudiando las leyes de conservación y la estructura hamiltoniana de las ecuaciones de marea de Laplace térmicas. Estas ecuaciones permiten incorporar flujos de calor y agua dulce a través de la superficie del mar, ampliando así su alcance.

Un aspecto destacable de las ecuaciones de marea de Laplace térmicas, en su versión de bajas frecuencias, es su capacidad de producir movimientos de escalas por debajo del llamado radio de deformación de Rossby, unos 50 km dependiendo de la latitud, el cual define la mesoescala en oceanografía.

Los movimientos de submesoescala se consideran de fundamental importancia para los intercambios de gases entre la atmósfera y el océano y por ende en el balance calórico del planeta.

En la actualidad, las ecuaciones de marea de Laplace térmicas son motivo de estudio debido a su estructura hamiltoniana, la cual permite probar parametrizaciones consistentes con esta estructura sin afectarla.

La necesidad de parametrizaciones, cuyo objeto es representar en un modelo lo que el modelo no puede hacer explícitamente, tiene que ver con que las escalas que hacen falta resolver aún están más allá del alcance del poder computacional actual.

Las ecuaciones de marea de Laplace térmicas habían sido abandonadas por el crecimiento del poder de cómputo y un interés de reproducir observaciones más que entender los principios físicos básicos que conducen a un determinado fenómeno observado, o por observar, que era lo que las ecuaciones de marea de Laplace térmicas prometían alcanzar.

Ha sido muy grato enterarnos de que las ecuaciones de Laplace térmicas se conocen en la actualidad como ecuaciones de Ripa, las cuales siguen más vigentes que nunca y son motivo de investigación.

Aunado a estas dos grandes ramas de la obra científica de Pedro Ripa, también fue parte fundamental crear una escuela dentro del Departamento de Oceanografía Física del CICESE, muy orientada a la física, con una corriente de opinión clara, elegante, que se propagó internacionalmente.

Por ello su legado como académico y docente trascendió también en el posgrado de Oceanografía Física del CICESE a través de la línea de generación y aplicación del conocimiento denominada *Aspectos teóricos de la dinámica de fluidos geofísicos y procesos turbulentos*, que sigue vigente.

*Profesor investigador de la Universidad de Miami.

**Investigador del CICESE Unidad La Paz.

► Diseño computacional de proteínas

Jazmin Félix*

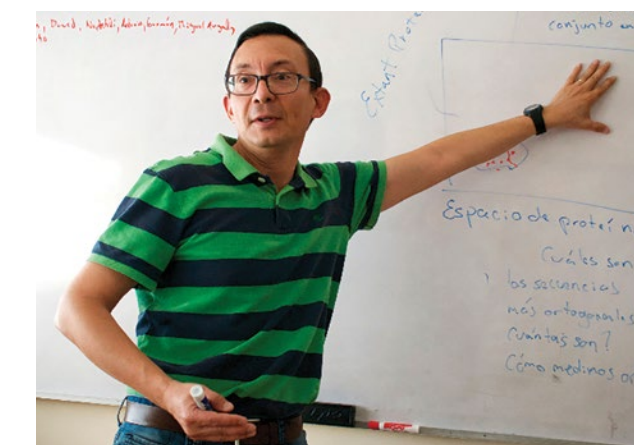
Diseñar proteínas a través de un sistema automatizado por computadora, sin la intervención del humano durante el proceso, es uno de los esfuerzos que realiza el CICESE, y es un trabajo conjunto que científicos de diversas disciplinas han hecho para acercarse cada vez más al desarrollo de este desafío.

Las proteínas son moléculas compuestas de secuencias de aminoácidos que hacen funcionar el cuerpo de manera adecuada, ayudan a transportar nutrientes, aceleran procesos de degradación, regulan las hormonas, el metabolismo y a través del sistema inmune ayudan en la detección de cuerpos extraños.

La queratina, proteína encargada de llevar vitaminas al cabello y las uñas, es un ejemplo de su función. Asimismo, la insulina, que regula los niveles de azúcar, o la hemoglobina, presente en los glóbulos rojos se encarga de transportar oxígeno desde los pulmones a los tejidos y órganos del cuerpo.

Estas valiosas moléculas están compuestas de aminoácidos, bloques de construcción hechos de carbono, oxígeno e hidrógeno que al unirse forman una proteína.

En palabras del doctor Carlos Brizuela, investigador del Departamento de Ciencias de la Computación, y quien ha encabezado diversos proyectos de diseño computacional de proteínas, el mal funcionamiento de alguna proteína puede causar enfermedades degenerativas, como Alzheimer, Parkinson, Huntington, cataratas en los ojos y diabetes tipo 2.



A través del diseño computacional de estas moléculas, padecimientos como estos podrían ser atacados con fármacos hechos a base de proteínas creadas desde cero o modificadas, incluso con aplicaciones biotecnológicas y terapéuticas.

Aunque el diseño de proteínas en laboratorios es una práctica científica muy utilizada y con aplicaciones -también en biotecnología y creación de fármacos, tales como el *Polymyxim B*, usado para combatir infecciones de los ojos, o *Humira*, para tratar la artritis reumatoide-, el diseño computacional de proteínas se logró por primera vez en 1997, por Stephen L. Mayo, investigador del Instituto Tecnológico de California (Caltech).

Veintiséis años han pasado desde ese descubrimiento, y los avances en el diseño computacional de proteínas han sido pocos. De acuerdo con Brizuela, uno de los motivos es que el equipo de supercómputo existente todavía no tiene la capacidad de realizar una operación tan grande como es el análisis de todas las configuraciones posibles para diseñar una proteína.

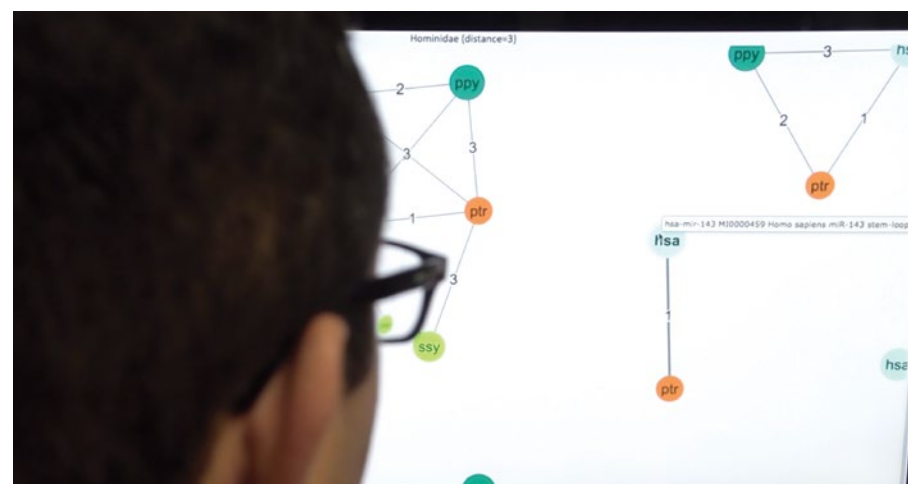
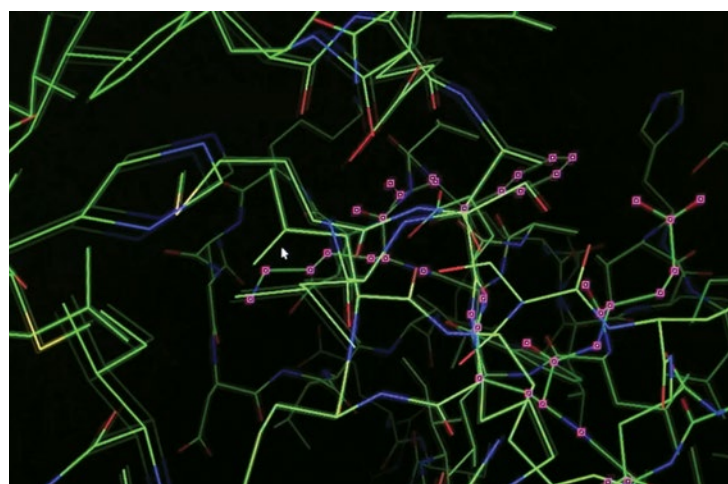
Pero esta limitante no ha detenido a los investigadores del CICESE, quienes han apostado por el desarrollo de este método y obtenido excelentes resultados. Lo que -según Brizuela- convierte al CICESE en la única institución en México que trabaja en el diseño computacional de proteínas con un enfoque totalmente automatizado.

Durante los últimos años, los investigadores de este proyecto se han enfocado en afinar los métodos computacionales, analizar procesos metodológicos, estudiar problemas en el diseño de proteínas, así como identificar y diseñar péptidos (proteínas pequeñas) con actividad antimicrobiana.

Otras de las aportaciones es la creación del *software AMP Discover*, cuya función es predecir péptidos antimicrobianos, antibacterianos, antifúngicos, antivirales, antiparasitarios, ente otros. Este programa es libre y gratuito para biólogos y estudiantes.

Aunque el camino es largo, Carlos Brizuela proyecta que en 10 años el CICESE tendrá un equipo consolidado que aborde el gran desafío del diseño computacional de proteínas, integrado por investigadores de diversas especialidades “que se dediquen a trabajar y diseñar proteínas que ayuden en tratamientos como las enfermedades degenerativas y el cáncer, temas de interés nacional”. En esta labor de diseño se necesita de especialistas en computación, así como bioingenieros, bioquímicos, biofísicos y médicos.

*Integrante del Departamento de Comunicación.



► Lo escalofriante de la luz, desde la óptica cuántica

Por Stephannie Lozano*. Con información de U. Cruz*, N. Herrera* y Dayanne Francisco Martínez Vega

En 2022 el concepto de entrelazamiento cuántico ocupó las páginas principales de los medios de comunicación, pues el premio Nobel de Física fue otorgado a Alain Aspect, John F. Clauser y Anton Zeilinger, por realizar experimentos que estudian las desigualdades de Bell.

La luz siempre ha sido un aspecto muy llamativo de la naturaleza y gracias a su estudio la humanidad dio un vistazo a los confines más pequeños y misteriosos del universo, lo cual impulsó el desarrollo de la mecánica cuántica a inicios del siglo XX y la primera revolución cuántica.

El Departamento de Óptica del CICESE ha destacado por sus diversas líneas de investigación sobre estudios de la luz, y la óptica cuántica y el entrelazamiento no se ha quedado atrás.

En 2011, el doctor Kevin O'Donnell, investigador de este centro, publicó en *Physical Review Letters*, una de las revistas científicas con más prestigio en el campo de la física, el artículo *Observaciones de la cancelación de la dispersión inducida en parejas de fotones entrelazados*, el cual describe un experimento que permite observar las propiedades cuánticas de la luz de manera 100 mil veces más precisa que en los trabajos realizados anteriormente.

En él utilizó parejas de fotones que están entrelazados cuánticamente, un efecto que le costaba trabajo entender a Albert Einstein en la década de 1930, quien se refería al fenómeno de entrelazamiento como “escalofriante” (*spooky*, en inglés). A pesar de ello, los efectos de entrelazamiento cuántico fueron observados más tarde y en la actualidad son comúnmente estudiados.



El artículo de O'Donnell se refiere a un estudio del comportamiento temporal de los fotones. Un fotón puede durar unos pocos femtosegundos (un femtosegundo es la milbillonésima parte de un segundo, o un 1 precedido por 14 ceros); esto es, aproximadamente, 100 mil veces más corto que la duración de la “señal” que un detector ultrarápido puede llegar a medir actualmente.

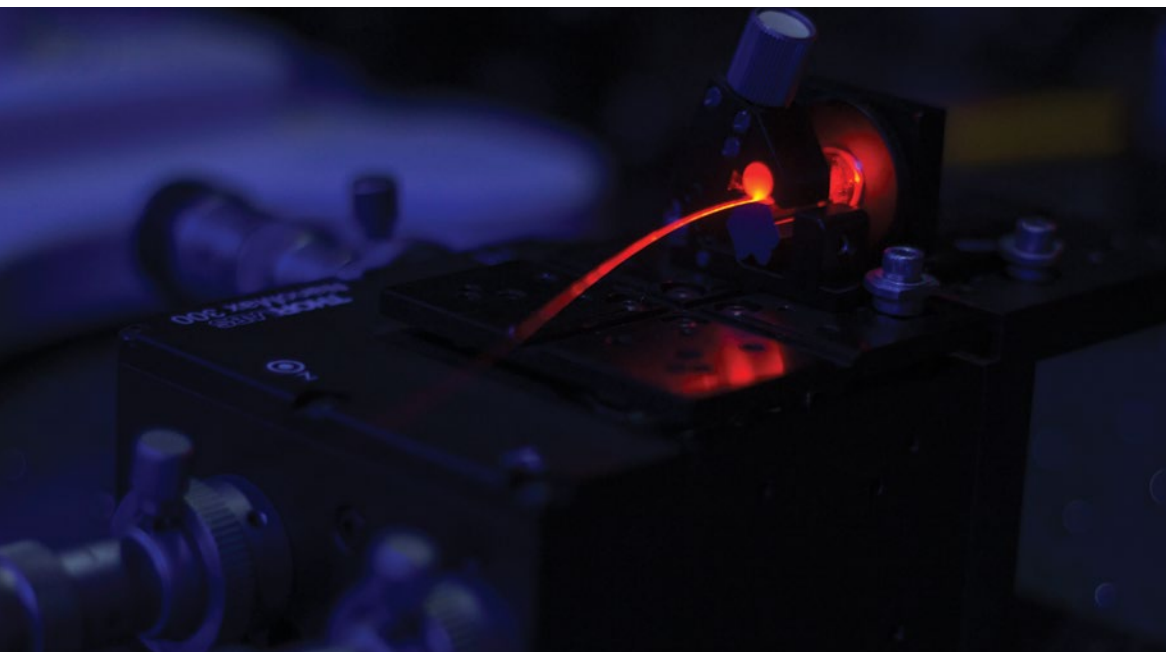
El truco para observar este fotón corto consiste en usar un segundo fotón, el cual está entrelazado cuánticamente con el primero, y en tratar de hacer que estos dos fotones se recombinen formando un tercer fotón, lo cual destruirá el par original.

Si el par de fotones se desincroniza por más de unos pocos femtosegundos, el proceso de recombinación es detenido, con lo cual es posible determinar la duración de los fotones provenientes del par original. Esta técnica fue desarrollada por primera vez en 2009, en el laboratorio de Óptica Cuántica del CICESE.

Este trabajo se refiere al estudio de la dispersión de fotones, o más precisamente, al estudio de los casos particulares en el que los fotones son “extendidos” temporalmente.

Cómputación cuántica

A más de cien años de la primera revolución cuántica, la comunidad científica se encuentra en medio de la segunda, diferente porque se centra en uno de los aspectos más fundamentales y cotidianos de la vida moderna: la computación.



Esta se fundamenta en efectos físicos, como el entrelazamiento cuántico, el principio de superposición, la teleportación cuántica y muchos otros que suman al diseño de las tecnologías emergentes del futuro.

En esta área del conocimiento participa un grupo de investigación interinstitucional, del Centro de Nanociencias y Nanotecnología de la UNAM, así como de la Universidad Tecnológica de Troyes en Francia, encabezado por los investigadores Karina Garay Palmett y Francisco Antonio Domínguez Serna, del CICESE.

Este tipo de computación se basa en la lógica del bit cuántico, o cúbit, y lo especial de él es que se fundamenta en la superposición. En cuestión de procesos, la computación cuántica realiza más en menos tiempo, y con ello es capaz de resolver problemas para los que la computación clásica no es suficiente.

En cambio, una computadora cuántica toma la combinación o la superposición de las posibilidades y hace un procesamiento sobre estas de forma simultánea (a esta simultaneidad también se le conoce como paralelismo cuántico).

El equipo de trabajo de Karina y Francisco se encuentra actualmente trabajando en tecnologías de información cuántica. Ellos decidieron incursionar en el problema de la computación cuántica por medios fotónicos; lo que buscan es hacer un acercamiento un poco diferente.

“Nosotros buscamos hacer cómputo, pero con unos cúbits particulares que se pueden generar a través de una interacción no lineal. De momento, ya mostramos teóricamente que es posible preparar estos bits cuánticos, que son cúbits de color en el sentido de que podemos tener a la salida del sistema un fotón que puede ser rojo, azul o puede estar en una superposición de ambos; por eso, le denominamos cúbit de color.

“También demostramos que el mismo proceso que permite generarlos, los transforma. Hacer transformaciones de un cúbit no es más que hacer rotaciones en algo que llamamos la esfera de Bloch. Hasta ahora hemos abordado el problema de compuertas cuánticas de un solo cúbit (las computadoras cuánticas comerciales como la de IBM, manejan alrededor de 127 cúbits)”, comentó Garay.

Además, el equipo ha comenzado a trabajar en un sistema donde puedan tener dos cúbits interactuando entre sí. Hasta ahora solo se ha trabajado el problema de un cúbit.

“El premio Nobel se adjudicó por experimentos que tienen que ver con la demostración del entrelazamiento cuántico y particularmente entrelazamiento cuántico en estados de luz. Eso lo acerca mucho a lo que nosotros hacemos, porque aquí justamente trabajamos con procesos de la óptica no lineal para preparar estados de dos fotones y poder tener entrelazamiento cuántico; para esto necesitas un sistema que al menos esté formado por dos subsistemas y en el caso fotónico sería el de dos fotones.

“Hay procesos de la óptica no lineal que permiten emitir una pareja de fotones a la vez, esa pareja de fotones exhibe correlaciones, ya sea en el número de fotones (que significa que si existe uno debe existir el otro), también en el espectro de los fotones, el momento espacial o en muchos grados de libertad de la luz. Pero justamente el que se den estas correlaciones puede conllevar a preparar estados entrelazados. Esto sí está muy aunado a lo que nosotros hacemos, en particular porque el Nobel se otorgó por experimentos basados en fotones”, finalizó Garay.

*Integrante del Departamento de Comunicación.

**Colaborador del Departamento de Comunicación.



► ¿Predicción de sismos? La hipótesis Keystone

Stephannie Lozano*

Hay una precisión que los investigadores de las Ciencias de la Tierra hacen siempre: es imposible predecir sismos. Y por ello, es uno de los retos más grandes que persiguen.

Para quienes se dedican a las geociencias, los sismos de gran magnitud son una singular oportunidad para analizar a detalle sus características y proponer nuevas explicaciones sobre la mecánica con la que opera el planeta.

Ejemplo de ello es el sismo de 2010 ocurrido en Mexicali de magnitud 7.2, cuya actividad llevó al doctor John Fletcher, investigador del Departamento de Geología, y a sus coautores a generar una nueva hipótesis sobre el comportamiento de fallas, la cual fue publicada a inicios de 2016 en el artículo *The role of a keystone fault in triggering the complex El Mayor-Cucapah earthquake rupture* en la revista científica *Nature Geosciences*.

Este sismo activó movimiento en, por lo menos, siete diferentes fallas –cercanas y conectadas– con diversas orientaciones, y produjo la ruptura más compleja documentada en el margen de las placas norteamericana y del Pacífico.

Muchas de estas fallas activas eran desconocidas antes del evento y nadie sospechaba que fueran capaces de actuar juntas y producir un sismo tan grande.

Fletcher, quien describió a este evento como “la madre de todas las rupturas multifallas”, junto a sus colegas y estudiantes ha trabajado desde 1994 en el sistema de fallas El Mayor-Cucapah, en la Laguna Salada, donde aconteció el sismo. Esta experiencia ayudó a organizar la respuesta científica internacional para caracterizar el sismo.

A través de un análisis detallado y multidisciplinario, obtuvieron un resultado que fue, a primera vista, físicamente imposible; la presión tectónica responsable del sismo rebasó por mucho el límite de fricción de la mayoría de las fallas activadas en el evento. Este descubrimiento impulsó una reevaluación de las suposiciones básicas que se usan en sismología, lo que resultó en una nueva hipótesis.

La hipótesis de la falla *Keystone* formula una explicación mecánica sobre cómo se activan múltiples fallas en un solo sismo. *Keystone* es un término arquitectónico que se refiere a la piedra clave ubicada en el centro de un arco para soportar los flancos. Si se remueve esta piedra clave se colapsa el resto de la estructura.

Con leyes físicas es posible demostrar que la presión tectónica necesaria para producir un sismo en una falla varía mucho dependiendo de su orientación. Siempre ha sido difícil explicar cómo se activan fallas de diversas orientaciones en un solo sismo.



De forma semejante a la mecánica de arcos, estas fallas deben interactuar a través de intersecciones para soportar la carga tectónica de la corteza. Debido a su orientación, la falla *keystone* soporta más presión y mantiene la integridad de la red compleja de fallas. Esta presión puede rebasar el límite de fricción de otras fallas si están soportadas por una o más fallas *keystone*. Sin embargo, cuando la presión tectónica llega al límite de fricción para la falla *keystone*, se activan espontáneamente las demás fallas aumentando la magnitud del sismo y la complejidad de la ruptura.

La mayoría de los sismos de gran magnitud involucran la activación de más de una falla. Por ello, para países con zonas sísmicas importantes, como México, es necesario entender cómo son las interacciones entre fallas con diversas orientaciones, y así conocer qué fallas activarán a otras en un solo sismo.

En el último modelo de pronóstico de riesgo sísmico a lo largo de la frontera tectónica en California (UCERF3, 2015) dejaron de tratar a las fallas como entidades aisladas y por primera vez agregaron la posibilidad de rupturas multifallas.

Este único cambio fue suficiente para aumentar cinco veces la probabilidad de que ocurra un sismo de gran magnitud (aproximadamente de 8.0) en la región. Sin embargo, el modelo UCERF3 no está fundamentado en la física que controla las interacciones entre fallas y los procesos que preparan fallas de diversas orientaciones para activarse espontáneamente en el mismo evento.

La hipótesis de la falla *keystone* representa una nueva herramienta en la evaluación de riesgo sísmico. Ahora se puede conocer detalladamente cuáles arreglos de fallas son susceptibles de romper juntos en el mismo evento, con base en parámetros básicos como la geometría, distribución e intersecciones de las fallas. También se puede probar objetivamente la hipótesis estudiando otros sismos multifallas.

Fletcher y sus coautores argumentan que la hipótesis de la falla *keystone* es la mejor explicación que existe para entender la sismogénesis de la falla San Andrés y toda la clase de fallas extensionales con inclinaciones someras. Además de ser de alta importancia, estas fallas han generado los debates más intensos en ciencias de la Tierra durante las últimas cinco décadas.

*Coordinadora del Departamento de Comunicación.



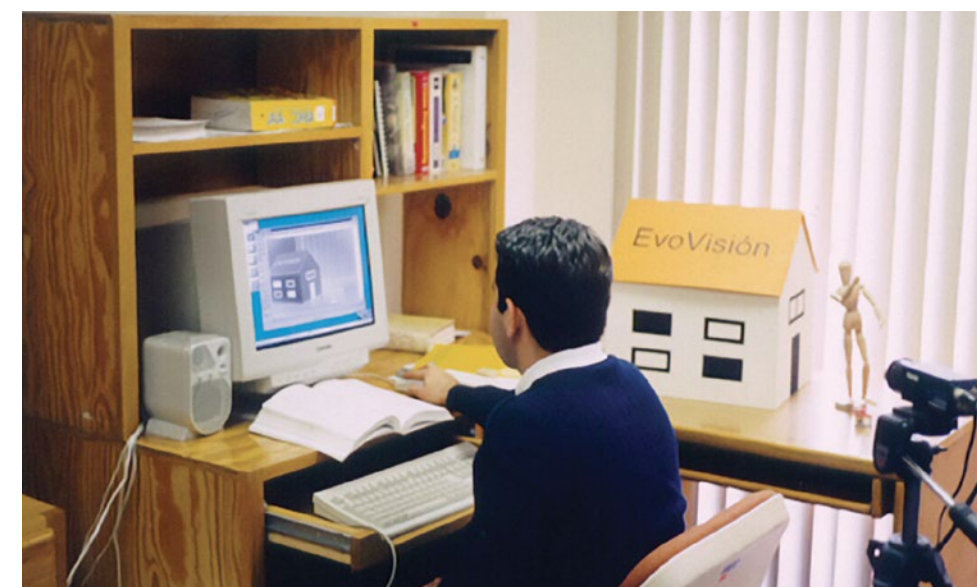
► Visión por computadora evolutiva: el propósito en la vida como metáfora para la solución de problemas

Stephannie Lozano* y Gustavo Olague**

Históricamente la ciencia ficción ha inspirado al desarrollo de nuevos dispositivos tecnológicos. Los discursos de películas como *Yo, robot* y *Matrix* plantean una implicación filosófica sobre cómo afecta el saber científico y el uso tecnológico al entorno humano, qué aporta al conocimiento y a las actividades cotidianas, y con qué “fin” se utilizan la ciencia y la tecnología.

En el CICESE, el doctor Gustavo Olague, investigador de Ciencias de la Computación, propuso un paradigma en 2016 en el que unió la visión por computadora y la computación evolutiva.

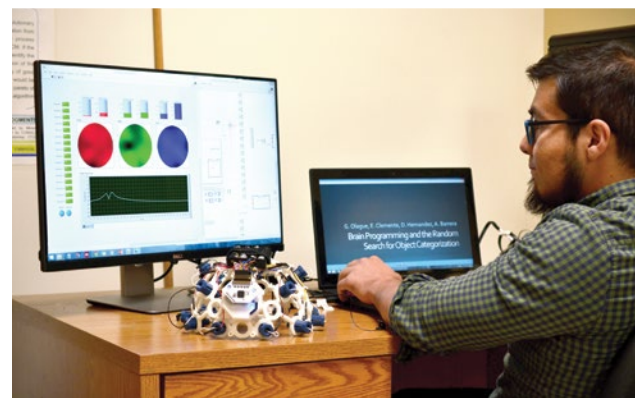
Este nuevo paradigma trata problemas mediante la optimización matemática y la computación evolutiva. La idea se inspira en el proceso de selección natural donde el mejor elemento dentro de un conjunto de soluciones posibles, a un problema de visión, es identificado luego de evolucionar las estructuras computacionales. En este contexto la teoría de la evolución de Darwin se comprende dentro de la optimización matemática, siguiendo esta perspectiva.



Esto dio pauta a unir la teoría y la aplicación de la visión por computadora con la evolución artificial. Es decir, la capacidad que tiene un computador para procesar imágenes del mundo real y realizar soluciones automáticas a tareas como detección de objetos, clasificación, seguimiento de objetos, reconstrucción tridimensional, utilizando conceptos de la evolución.

Extrapolando el concepto hacia las ciencias computacionales, se busca diseñar estrategias que desarrollen la creación automática de nuevos comportamientos visuales en instrumentos tecnológicos; por ejemplo, que una computadora pueda reconocer su entorno y conforme a su meta programada, pueda seleccionar la mejor opción a su alrededor para lograr la tarea.

La meta es crear tecnología y sistemas que desarrollen soluciones óptimas de manera automática, basados en procesamientos de habilidades comparativas, tal como se encuentran en numerosos sistemas de la naturaleza.



En la parte teórica filosófica, Olague propuso una aplicación a partir de una teoría basada en el propósito, utilizando el concepto aristotélico de la teleología; un recuento filosófico que sostiene que las causas finales existen en la naturaleza, y que el diseño y el propósito que se encuentra en las acciones humanas son inherentes también en la naturaleza.

En los últimos años, Olague junto a colegas y estudiantes de posgrado han estudiado cómo funciona el cerebro: cuáles son los procesos para tomar decisiones y cómo se comporta ante distintas acciones. Por ello, han estudiado señales cerebrales para asemejarlas en sistemas de cómputo y así aproximarse a tener lecturas de una mente.

Sin duda, el mayor aporte a la sociedad en este proyecto de investigación es el número de investigadores y tecnólogos que se han formado y actualmente laboran no solo en instituciones académicas nacionales e internacionales, sino en la iniciativa privada.

Los aportes en el desarrollo de conocimiento se observan en los numerosos premios que año tras año reciben los estudiantes en foros internacionales.

Este paradigma se encuentra en el libro *Evolutionary Computer Vision*, una publicación de la serie de computación natural de la biblioteca Springer. Tras nueve años de debate sobre esta metodología, Olague pudo publicar su idea sobre cómo Darwin vio que el diseño y el propósito se podían entender en la naturaleza y así traspasar dicho concepto al campo tecnológico. Entonces, puede existir un propósito independientemente de una mente sin contradicción alguna con los seres humanos y la metafísica.

*Coordinadora del Departamento de Comunicación.

**Investigador del Departamento de Ciencias de la Computación.

► Son bacterias, y no el fitoplancton, las que captan la mayor parte de la luz solar en los océanos

Roberto Ulises Cruz Aguirre*

Un equipo internacional liderado por Laura Gómez Consarnau, del CICESE, demostró en 2019 que ciertas bacterias marinas, al utilizar unos pigmentos llamados rodopsinas, procesan la energía solar con más eficiencia que el fitoplancton, siendo éstas, las bacterias, el principal grupo encargado de transformar la luz solar en energía biológica.

Esto rompe con el tradicional paradigma de que casi toda la luz solar en los ecosistemas marinos es capturada por el fitoplancton (microalgas y cianobacterias) gracias a la clorofila, y confirma además que las comunidades bacterianas pueden sobrevivir en aguas muy pobres en materia orgánica.

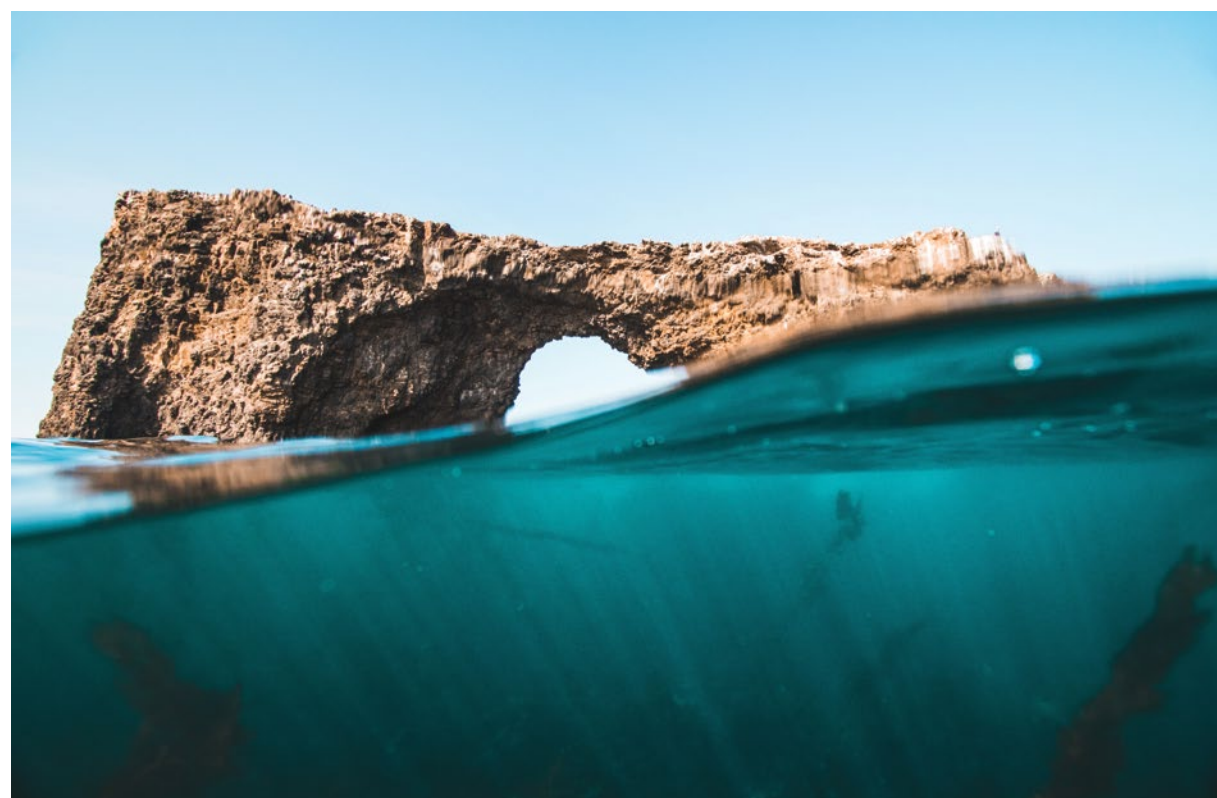
En un esquema tradicional, el fitoplancton es responsable de la mitad de la fotosíntesis que ocurre en el planeta. Es un proceso muy importante en oceanografía porque capta CO₂ de la atmósfera, produce oxígeno y crea materia orgánica, que es la base de la cadena alimenticia marina. De ésta, la mitad es consumida como partículas por organismos más grandes y sube a la cadena trófica.



La otra mitad queda disuelta en el agua y es degradada por bacterias, en un proceso similar a nuestra respiración pues produce CO_2 y consume oxígeno. Por ello en el mar este balance entre la fotosíntesis y las actividades bacterianas es muy importante y se ha estudiado desde hace muchos años.

Sin embargo, la clorofila no es el único pigmento capaz de convertir la luz solar en fuente de energía bioquímica. La bacterioclorofila y las rodopsinas también son pigmentos convertidores de energía, y ambos están presentes en bacterias. Esto se descubrió hace apenas 20 años, pero por falta de una metodología adecuada se desconocía con cuánto contribuían a la captura de energía en las zonas fóticas marinas. Hasta este estudio.

Antes, numerosos investigadores habían secuenciado genomas de bacterias colectadas en cruceros y habían encontrado que muchos de sus genes son rodopsinas. Se daba por entendido que éste tenía que ser un proceso muy importante porque la mayoría de las bacterias tenían los genes para producir el pigmento, pero no se sabía si terminaban produciéndolo y en qué condiciones se regulaba esa producción.



Por ello, el equipo de Laura Gómez desarrolló un método propio que les permitió cuantificar el producto final, el pigmento, y estimar cuánta energía captura. Diseñaron un crucero oceanográfico en el Mediterráneo y tomaron muestras a lo largo de un transecto con características muy diferentes: al este el agua es muy oligotrófica; es decir, tiene muy pocos nutrientes, hay muy poca clorofila (producción primaria) y casi no hay biomasa. Al oeste el agua es más costera, con aporte de nutrientes a partir de los ríos; hay más fotosíntesis y también hay más bacterias. La tercera zona, cerca del Atlántico, resulta muy similar a lo que se encuentra en mar abierto.

Los resultados se publicaron en agosto de 2019 en *Science Advances*, y entre ellos destaca que las concentraciones más altas de rodopsina se observaron en aguas más superficiales que el máximo de clorofila profunda, y su distribución geográfica se relacionó inversamente con la de clorofila-a.

Aunque encontraron que las concentraciones de rodopsina son menores que las de clorofila, aquellas capturan aproximadamente la misma cantidad de luz solar porque son pigmentos mucho más eficientes. ¿Qué tanto? Hasta 300 veces más: una sola molécula de rodopsina realiza la fotosíntesis funcional equivalente a la de 300 moléculas de clorofila.



Por ello, en términos generales se puede decir que en el mar hay menos rodopsinas que clorofila; que capturan mucha más energía (hasta el doble), y que los máximos se encuentran en aguas oligotróficas (con poca productividad y bajos en nutrientes).

También revelaron que la luz solar es una fuente de energía esencial para la supervivencia de comunidades bacterianas en aguas muy pobres en materia orgánica. Además, considerando que las bacterias con estos pigmentos no capturan CO_2 de la atmósfera, sino que lo producen, el estudio sugiere que este tipo de bacterias podrían jugar un papel importante en el ciclo del CO_2 y en cómo se regulará a futuro el clima de nuestro planeta.

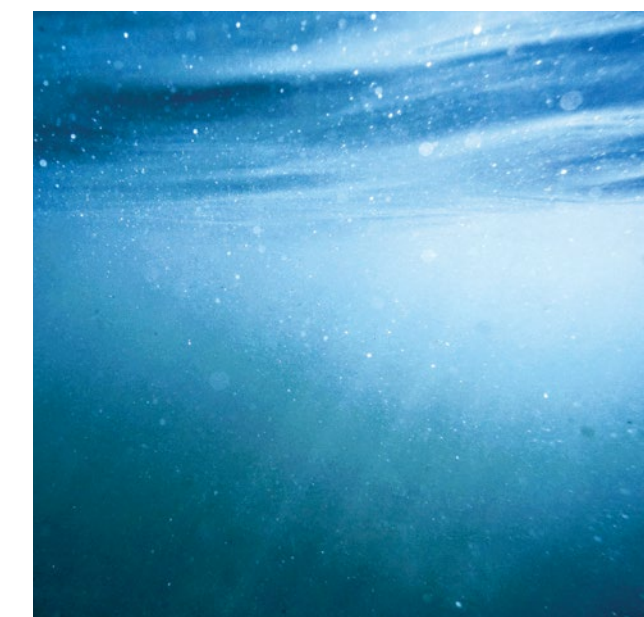
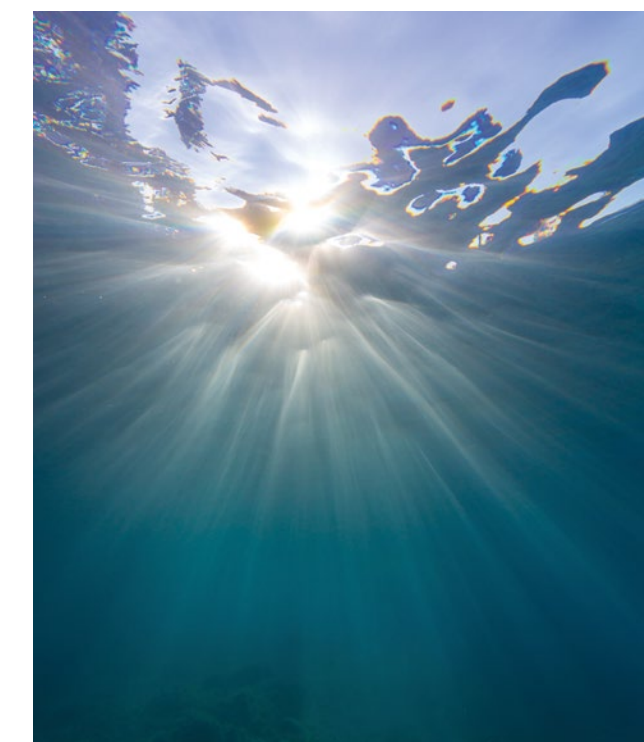
Dos años después, Gómez Consarnau participó junto con otro investigador del CICESE (Roberto Sañudo Wilhelmy) y 11 investigadores más de Nueva Zelanda, Estados Unidos, Austria e Israel, en otro crucero, ahora en aguas subantárticas. En él compararon los mecanismos microbianos de utilización de luz solar entre clorofilas y rodopsinas, en un transecto de 60 km frente a Nueva Zelanda, muy particular porque atraviesa tres regímenes oceanográficos o masas de agua con características muy distintas: costeras, subtropicales y subantárticas, estas últimas caracterizadas por ser altas en nutrientes, bajas en clorofila y limitadas en hierro.

Los resultados, publicados en 2021 en *Environmental Microbiology Reports*, indican que en aguas subantárticas los microorganismos utilizan más la energía de la luz a través de rodopsinas que de clorofilas, lo que parece ser una estrategia alternativa importante en estas áreas donde los niveles de hierro en el agua son muy bajos.

Este hallazgo sugiere que el mecanismo biológico que utilizan algunos seres vivos para producir energía biológica a partir de la luz solar (fototrofia) basado en rodopsinas podría ser fundamental para que el plancton microbiano se adapte a entornos con limitaciones de recursos donde la fotosíntesis y la respiración bacteriana estén limitadas. Y esto es relevante porque las aguas del océano subantártico donde se hizo este estudio son muy importantes para el resto de los océanos ya que, a través de su circulación, proveen de nutrientes a muchas otras masas de agua, apoyando así la productividad primaria global.

Estas regiones marinas son también los sumideros de carbono antropogénico más grandes del mundo, y por eso el gran interés científico mundial de estudiar esos ecosistemas marinos.

*Integrante del Departamento de Comunicación.



2

CAPÍTULO

Aportaciones
a la sociedad



Desarrollo tecnológico

► Detección de sismos a distancia

Roberto Ulises Cruz Aguirre*

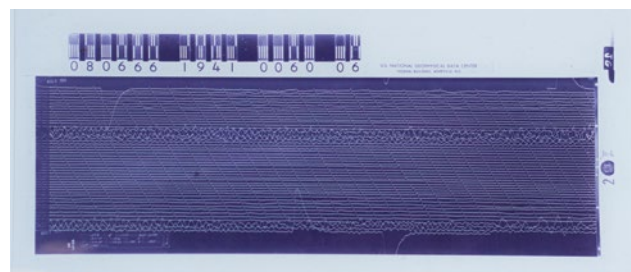
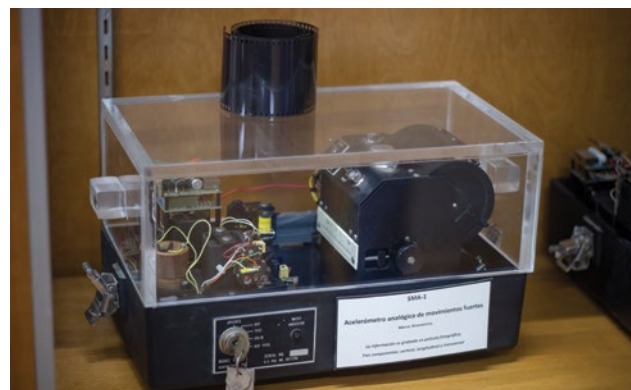
El CICESE ha sido pionero en el área de instrumentación sísmica prácticamente desde su fundación. En 1977, el entonces Departamento de Geofísica (hoy División de Ciencias de la Tierra) lo conformaban tres secciones: Tectónica y riesgo sísmico, Geofísica de exploración y el grupo de Instrumentación geofísica, liderado por el doctor Jorge Valerdi Caram, quien llegó ese año al CICESE precedido por una excelente trayectoria en el campo de las telecomunicaciones.

Este grupo comenzó a trabajar en dos disciplinas: sensores (sismómetros y equipos de registro) y telemetría, con especialidad en las bandas de frecuencia VHF y UHF (muy alta frecuencia y frecuencia ultra alta, respectivamente) analógicos, redes digitales y enlaces por microondas.

¿Por qué desarrollar instrumentación en el grupo de geofísica? El entonces jefe de este departamento académico, Alfonso Reyes Zamora (†), señaló en las Discusiones Internas de 1977, que se debía a la limitación de recursos económicos, la necesidad de utilizar instrumentos que por sus características y demanda no se adquieren en el mercado o sus costos son elevados, y la posibilidad de proveer (a la sección de Instrumentación) parámetros de diseño apropiados a sus recursos y limitaciones.

En forma paralela y complementaria, en el Departamento de Física Aplicada una de sus principales líneas era la Instrumentación científica, que involucraba la investigación, diseño y el desarrollo de prototipos e instrumentos científicos de laboratorio y de campo para proyectos de Oceanografía, Geofísica y Física Aplicada.

En las Discusiones Internas de ese año, el ingeniero Fidel Díaz Muñoz, quien era parte de este grupo académico en Física Aplicada, reportó que ya trabajaban en el desarrollo de un sismógrafo portátil de tipo digital en colaboración con el Departamento de Geofísica y el Centro de Cálculo.



La intención era utilizar “equipos modernos que nos permitan mejorar ampliamente la adquisición de datos de eventos sísmicos”, siendo la principal innovación el uso de microprocesadores como unidad de control del sistema, y que los datos serían “guardados en cinta magnética, en un cassette que podrá ser leído posteriormente por la computadora”.

Esto significaba un avance enorme con relación a la manera como se venían registrando los sismos hasta ese momento en todo el mundo. La red sísmológica del Golfo de California cuya operación Scripps (UCSD) transfirió al Instituto de Geofísica de la UNAM, y éste al naciente Conacyt bajo convenio firmado el 31 de enero de 1972, y que fue con la que comenzaron los estudios de sismicidad desde el origen mismo del CICESE, tenía estaciones que registraban los sismos en papel fotográfico.

Eran una especie de tinacos de dos metros de alto por uno de diámetro en cuyo interior estaba el instrumento. Un galvanómetro proyectaba un haz de luz que, a través de un prisma, se reflejaba en el papel fotográfico que se colocaba en un tambor giratorio.



Cada 24 horas había que cambiar el papel (si la estación estaba relativamente cerca lo hacía personal del Centro, si no, eran vecindados a quienes se les instruía en cómo hacerlo), y cada mes se enviaba el paquete con todas las gráficas (o había que ir por él para, además, calibrar la estación) a Ensenada, donde los técnicos, Miguel y Francisco Farfán, lo revelaban y se ponían a identificar los sismos.

Al tiempo que avanzaba el desarrollo de los nuevos instrumentos para registrar la actividad sísmica (los sismógrafos portátiles digitales), se hizo necesario automatizar el envío y la recepción de sus parámetros.

Valerdi lo definió así en 1977: “existe el deseo de monitorear estaciones sísmológicas para detectar eventos tan pronto como éstos ocurran (...) se pueden abatir costos, tanto de operación de las estaciones fijas (materiales de consumo), como de salarios en personal visitante: se pueden ubicar estaciones en lugares no habitados aprovechando su capacidad de autonomía; en tiempo real a larga distancia fácilmente procesables; se detectan de inmediato fallas en el equipo de las estaciones; y finalmente se pueden movilizar rápidamente brigadas de estudio a los sitios que detecten eventos interés”.

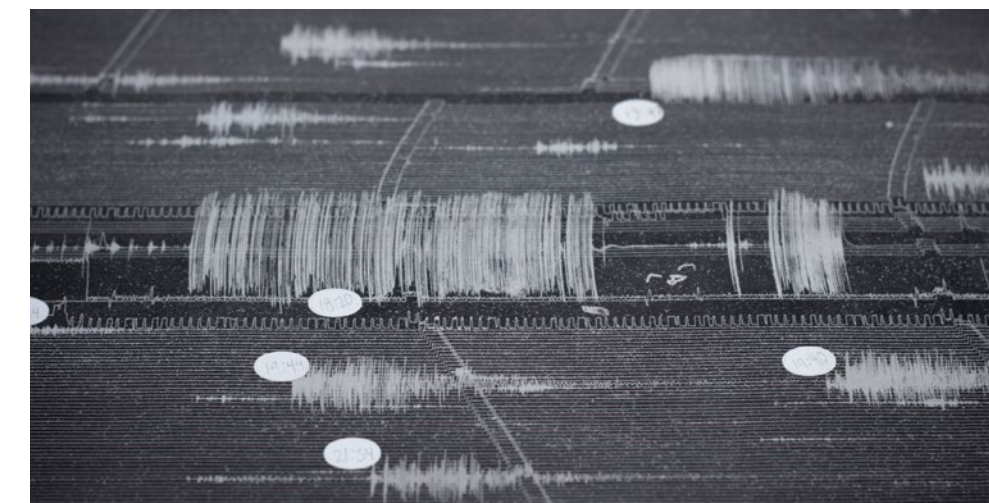
Con la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), el CICESE inició el primer trimestre de 1977 un convenio de estudio para delimitar la microsismicidad asociada al sistema de fallas Imperial - Cerro Prieto, según informó Alfonso Reyes (†) en las Discusiones Internas de 1978.

En enero de 1977 el CICESE comenzó un estudio detallado de la sismicidad del campo geotérmico de Cerro Prieto y, para tal fin, se estableció una red de sismógrafos portátiles, constituyendo así la red digital telemétrica de Cerro Prieto.

Ese año Jorge Valerdi se cambió al Departamento de Física Aplicada para apoyar y liderar el grupo en Telecomunicaciones que ahí se estaba conformando, y en Geofísica ingresó el ingeniero Mauro Medina Hernández para continuar con estos desarrollos. La principal actividad seguía siendo diseñar, construir e instalar sistemas de telemedición de señales sísmicas para el proyecto de Cerro Prieto contratado por el IIE y la CFE.

Valerdi, en las Discusiones Internas de 1978, informó: “Esto se está logrando con el envío de las señales sísmicas por radio enlaces en VHF a un concentrador en Cerro Prieto. De ahí se transmiten todas estas señales a la terminal de microondas en Mexicali, también por radio enlaces en UHF.

“Una vez que se tienen señales en Mexicali, éstas son enviadas a Ensenada por microondas de la SCT y posteriormente conducidas al CICESE por línea física.





“Por otro lado, se coordinó el diseño y especificación de unas estaciones portátiles inteligentes que están siendo desarrolladas por el grupo de Electrónica del Depto. de Física Aplicada. Estas unidades portátiles serán usadas para experimentos de campo de duración corta con grabación de resultados en cartucho de cinta magnética. La grabación será exclusivamente de eventos y el sistema lógico de la estación decidirá cuándo existen eventos de interés, con base a un criterio preestablecido”.

El trabajo continuó el año siguiente con pruebas de campo para evaluar la recepción en Cerro Prieto, se probaron los medios de transmisión de larga distancia (VHF, microondas y cable telefónico), se identificaron los problemas que originaban el ruido en la comunicación, y se avanzó en la introducción de estos datos a la computadora para su procesamiento.

El doctor Antonio Vidal Villegas, investigador del Departamento de Sismología y responsable (en 2023) de la Red Sismológica del CICESE señaló: “El propósito de esta red fue detectar y registrar la micro sismicidad de las fallas Imperial y Cerro Prieto. Además, permitiría usarla como un método de exploración de actividad geotérmica. Al término del proyecto (3 años después), solo quedó una estación en funcionamiento; sin embargo, se dieron los primeros pasos para digitalizar las señales y enviarlas, vía enlaces de radio, al CICESE.

“Durante el desarrollo de la red, dos sismos importantes ocurrieron en el Valle Mexicali-Imperial: el sismo de Imperial de 1979, asociado al extremo sur de la falla Imperial (M 6.4), y el sismo de Victoria de 1980 (M 6.3) asociado a la falla Cerro Prieto. La ocurrencia de estos sismos, así como el conocimiento adquirido sobre la micro sismicidad a lo largo de la falla San Miguel, en las sierras peninsulares de Baja California, robusteció la necesidad de tener una red de telemetría digital”.

Así surgió la Red Sísmica del Norte de Baja California (Resnor). En 1982 se obtuvo apoyo para Resnor mediante financiamiento vía el Conacyt y el Banco Interamericano de Desarrollo. La ampliación de la red estuvo a cargo del naciente Departamento de Sismología en 1983.

En su momento, el perfeccionamiento de esta red constituyó un avance de punta y se consideró como una de las más avanzadas del mundo en su género. Tan así que en 1979 Indetel otorgó el Premio Nacional de Telecomunicaciones a Jorge Valerdi y a Mauro Medina por desarrollar el primer sistema de transmisión de datos sísmicos en formato digital usando una red de telemetría.

Con este aporte no solo cambió la manera en que los especialistas de todo el mundo registran y reciben la información de cada sismo que ocurre, sino que se sentaron las bases para instrumentar las diferentes redes sismológicas que ha operado el CICESE en 50 años. Esto ha permitido conocer de manera rápida la localización y magnitud de los temblores en el noroeste de México, así como desarrollar más y mejores estudios sísmicos.

*Integrante del Departamento de Comunicación.

► Comunicaciones atmosféricas

Roberto Ulises Cruz Aguirre*

En 1991 se estableció el primer enlace punto a punto, vía láser, entre dos edificios en Ensenada: las azoteas de Física Aplicada del CICESE y del entonces centro de cómputo de la UABC, lo que constituyó uno de los primeros ensayos exitosos (quizá el primero) de un arreglo de comunicaciones ópticas en espacio libre que se tengan registrados en México.

En esos años, para la gran mayoría del sector académico y prácticamente todo el sector privado, el desarrollo de las comunicaciones ópticas para transmitir información (datos, audio o video) no estaba centrado en el uso de láseres, sino de fibras ópticas. En cuanto al espacio libre atmosférico, ya desde entonces estaba bastante ocupado por todo el espectro de radiofrecuencias que siguen utilizando los equipos de comunicación: televisión, radio, y más recientemente las redes móviles.



Sin embargo, desde los años 70 la NASA, la Agencia Espacial Europea, la japonesa, en general las grandes agencias, por no decir los militares, venían trabajando con este tipo de comunicadores ópticos, viendo la manera en cómo podían adaptarlos para su utilización en satélites por su alto potencial de transmisión de información.

El doctor Horacio Soto Ortiz, investigador del Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones, en su texto “Telecomunicaciones: cuatro décadas de orgullo y liderazgo” publicado en el libro *CICESE, los primeros 40 años* (2013), señala: “El ambicioso proyecto de la Red de Telefonía Rural (1976-1985) fungió como un catalizador que detonó el desarrollo de las telecomunicaciones y microondas dentro del CICESE”. Pero fue hasta el umbral de los 90, con el ingreso de nuevos investigadores (los doctores Javier Mendieta, Arturo Arvizu y el propio Horacio Soto), que empezaron a cultivarse las comunicaciones ópticas dentro del grupo de telecomunicaciones.

Arturo Arvizu explicó que, a diferencia de los enlaces de comunicación por radiofrecuencia cuyas señales pueden atravesar casi cualquier objeto sólido, incluyendo paredes y edificios, la luz no puede hacer esto. Se necesita estar a “línea de vista” y en buenas condiciones atmosféricas para establecer enlaces óptimos.

Y más aún. En el espacio libre, apuntar un láser desde un transmisor y “atinarle” a un receptor, es algo similar a lo que tiene que hacer un francotirador con su rifle. Sin embargo, tener mayor ancho de banda, mayor seguridad y bajo consumo de energía son ventajas nada despreciables de los sistemas ópticos versus radiocomunicaciones que, en contraparte, tienen mayor movilidad y flexibilidad.

El primer enlace entre Física Aplicada y la UABC que establecieron Javier Mendieta y su grupo (a una distancia aproximada de 370 metros), sirvió como ensayo para el desarrollo satelital que se avecinaba: el diseño y construcción del microsatélite Satex-1, el primer intento exclusivamente mexicano de incursionar en tecnologías espaciales, y uno de los primeros a nivel mundial en utilizar un sistema de comunicación óptico atmosférico.

El CICESE se comprometió a desarrollar la estación terrena, los subsistemas de telemetría y comando, y la carga útil que permitiría comunicar el microsatélite y la estación terrena.

El Satex-1 jamás fue lanzado al espacio, pero el sistema de comunicación lo completaron íntegramente investigadores y técnicos de este centro. Como nota aparte cabe señalar que tuvieron que pasar casi 20 años para que, en 2014, un grupo japonés lograra comunicar un satélite y una estación terrena empleando este tipo de enlace.

Mientras otros investigadores del CICESE continuaron participando en la carrera espacial mexicana con proyectos y propuestas, “nosotros seguimos trabajando con fibra óptica, pero en paralelo también trabajamos en el espacio libre, con experimentos que se hacían en el laboratorio y en las azoteas de este centro y la UABC”, relata Arturo Arvizu.





Eran enlaces didácticos, como parte de las prácticas que debían hacer los estudiantes de posgrado y con el apoyo del M. en C. Ramón Muraoka, técnico del grupo. Pero la distancia seguía siendo corta.

La atención se centró entonces en el punto más lejano que se aprecia a línea de vista desde el CICESE: Punta Banda, en el extremo sur de la Bahía de Todos Santos, a 17 kilómetros. Y hacia allá apuntaron el láser.

Acumular experiencia e infraestructura conlleva a una sola cosa: querer hacer enlaces cada vez a mayor distancia. Aprovechando una colaboración con el doctor Celso Gutiérrez Martínez, del INAOE, en 2015 se propuso un experimento para enlazar la sede de este instituto, que está en la ciudad de Puebla, con las instalaciones del Observatorio Atmosférico Alzomoni de la UNAM, localizado en el Parque Nacional Ixta-Popo, en el Estado de México.



El asunto era problemático no sólo por los 43 kilómetros que implicaba hacer el enlace, sino porque el sitio está restringido por la UNAM y también por los militares pues hay presencia del narcotráfico en la zona.

El primer día que intentaron establecer el enlace no hubo manera de librar un pino enorme que impedía la línea de vista con el INAOE. “Al día siguiente tuvimos que colocarnos en una parte diferente y ¡así sí lo logramos! Hicimos varios enlaces en Puebla que se ven espectaculares. Ahí pudimos probar muchos de los desarrollos que inicialmente fueron para el Satex; que nunca salieron del laboratorio y que los fuimos mejorando primero en los enlaces didácticos dentro del CICESE, luego de la UABC al CICESE, y luego de Punta Banda al CICESE. Cuando fuimos a Puebla ya teníamos mucha infraestructura desarrollada”, señaló el doctor Arvizu.

El siguiente objetivo fue el desierto de Baja California. Esta vez con un enlace entre un rancho cerca de San Felipe llamado El Dorado y el Observatorio Astronómico Nacional, ubicado en la sierra de San Pedro Mártir.

Quienes conocen esta sierra saben que hacia el este hay un escarpe muy pronunciado, y que desde ahí se abre el vasto desierto que abarca la Laguna Salada y, más allá, el Golfo de California.

Para entonces ya se había incorporado al grupo el doctor Joel Santos, quien llegó al CICESE como posdoctorante y se quedó como investigador. Estudió en Puebla, y allá conoció a Juan Manuel Núñez Alonso, actual responsable del Departamento de Instrumentación del Instituto de Astronomía de la UNAM en Ensenada.

Resulta que tiempo atrás la UNAM instaló unas antenas en el rancho El Dorado, e hizo pruebas con radiofrecuencia desde la sierra para que tuvieran internet. Por eso Manuel Núñez sugirió probar los equipos del CICESE y establecer un enlace óptico de 53 kilómetros de distancia. Todo un reto.

Arturo Arvizu lo define así: “Buscar un punto perdido en el desierto es un reto mayúsculo que implica una serie de desafíos. Seguido hay tormentas de arena en ese desierto y a esa distancia los sistemas GPS usados para localizar los receptores no tienen la precisión requerida; nos hemos ingeniado utilizando internet, celular o por radio, que es lo más parecido que pudimos encontrar a comunicarnos con un satélite”.

A raíz de estas experiencias decidió participar en una convocatoria que lanzó en 2017 la Agencia Espacial Mexicana y el Conacyt para desarrollar los subsistemas para establecer un enlace óptico satelital de tierra a un satélite de órbita baja.

No es lo mismo hacer un enlace de 53 km en el desierto, que establecer comunicación con un satélite a más de 500 km de distancia. El reto principal que identifica el doctor Arvizu es poder atinar con el láser al satélite a esa distancia. “Lo que sí te digo es que es más difícil que (los enlaces) funcionen en tierra, a nivel del mar, por toda la atmósfera que está presente, que a la altura de San Pedro Mártir. Entonces, si lo que ya desarrollamos funciona a estas distancias en tierra, es de esperar que en los satélites también funcionen”.

*Integrante del Departamento de Comunicación.

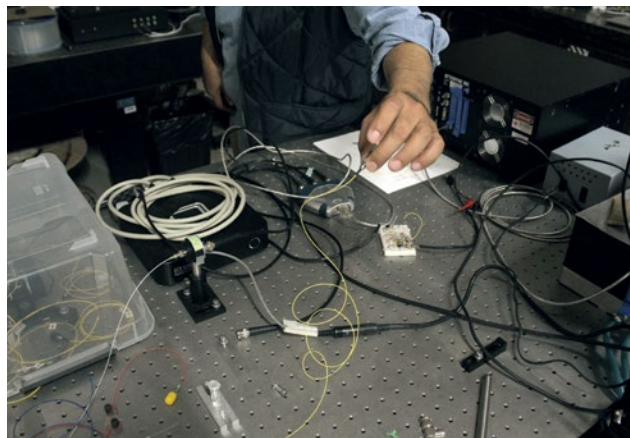
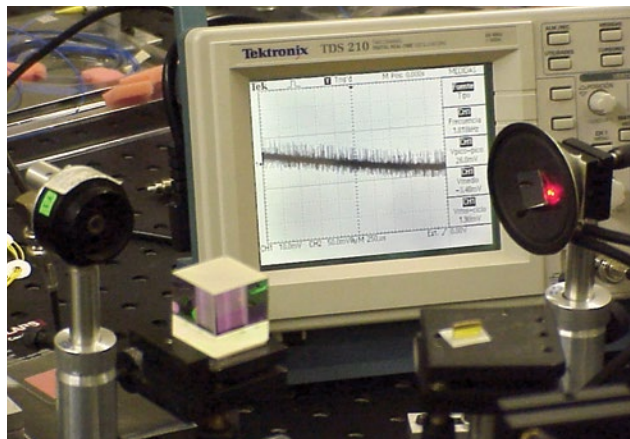
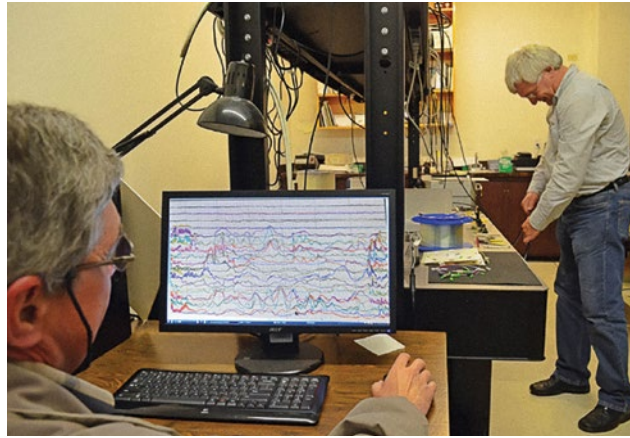
► Luz y fugas de hidrocarburos

Roberto Ulises Cruz Aguirre*

A principio de los años 2000, un grupo de investigadores del Departamento de Óptica liderados por el doctor Mikhail Shlyagin, desarrolló una tecnología de sensores en fibra óptica que permite detectar y localizar fugas de hidrocarburos con un margen de error menor a cinco metros, en ductos con longitudes de decenas de kilómetros.

El proyecto fue realizado en colaboración con el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), con fondos de la Secretaría de Energía (Sener) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt). En su momento fue el proyecto de vinculación con el mayor ingreso en la historia del Departamento de Óptica; generó tres patentes (dos en Estados Unidos y una en México) y luego de ser probado exitosamente en instalaciones de Petróleos Mexicanos en el estado de Hidalgo, fue en Rusia donde despertó interés en la industria petrolera.





La tecnología desarrollada en el CICESE consiste en tres elementos: el equipo optoelectrónico, la red de sensores ópticos distribuidos y puntuales, y un software especializado para procesar los datos obtenidos en tiempo real.

Como todo sistema optoelectrónico, el primero de estos elementos lo integran varios componentes: láseres, foto detectores, amplificadores, filtros ópticos, moduladores de luz y otros dispositivos.

El segundo son los sensores puntuales, una especie de "micrófonos ópticos". En realidad, se trata de interferómetros adaptativos desarrollados por otro investigador del Departamento de Óptica, el doctor Serguei Stepanov, basados en rejillas dinámicas de fibras ópticas dopadas con iones de erbio.

Cada uno de estos interferómetros se conectan en red a lo largo de un cable de fibra óptica; esto es, un cable estándar de telecomunicación que contiene dentro un número determinado de fibras ópticas. Así, el sensor distribuido es la misma fibra óptica en segmentos de 10 metros de longitud. Cada segmento funciona como un "vibrómetro" virtual capaz de detectar y localizar perturbaciones a lo largo de su longitud. Así, se pueden formar redes con hasta 5 mil sensores, los cuales permiten detectar y localizar una perturbación con una sensibilidad y exactitud muy alta.

Para convertir el cable estándar en un sensor distribuido se utiliza un efecto fundamental que tienen estas fibras denominado de retroesparcimiento de luz. La fibra óptica es conductora de luz. El equipo optoelectrónico envía al cable las señales ópticas de prueba y monitorea constantemente los parámetros de la luz que regresan de la fibra.

Estas señales se envían a una computadora que procesa los datos en tiempo real a través de un software desarrollado por el doctor Serguei Miridonov, otro colaborador del Departamento de Óptica.

Procesando las señales, el software relaciona los cambios detectados (la distribución de vibraciones) a lo largo de la longitud del cable, y de esta manera se localizan eventos como cambios de temperatura y vibraciones producidas por golpes relacionados con una fuga o con preparaciones (excavación, golpes sobre la pared del ducto) para hacer una toma clandestina en un ducto petrolero, con un margen de error menor a cinco metros.

El potencial de esta tecnología es adaptable a varios usos industriales, como puede ser la industria de la construcción para detectar deformaciones en edificios grandes, para el sector de seguridad pública o en situaciones donde se produzcan cambios rápidos de temperatura, como los causados por un aumento de disipación de calor en defectos de cables eléctricos.

En el plano internacional, el CICESE firmó en 2006 un convenio para transferir esta tecnología a la compañía rusa Sozvezdie, que hizo los estudios pertinentes para producir el sensor en serie y ayudar así a la industria petrolera de aquel país a detectar rápidamente fugas de gasolina, diesel, petróleo y otros productos refinados en sus ductos.

*Integrante del Departamento de Comunicación

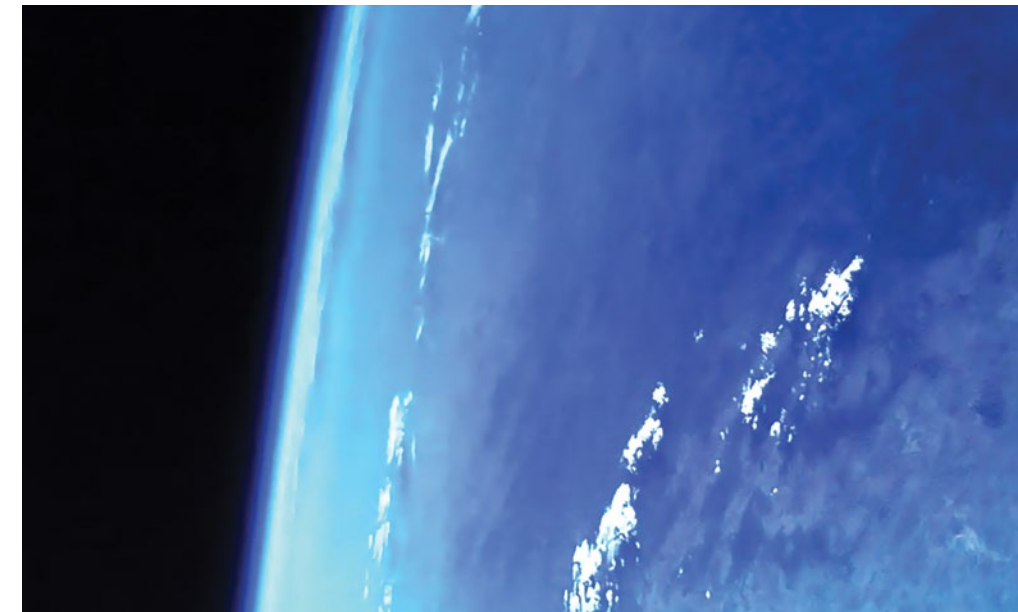
Patentes	Inventores	Fecha de expedición	País donde fue solicitada	Número de patente
<i>Fiber-optic sensing system for distributed detection and localization of alarm conditions</i>	Mikhail Shlyagin Vassili Spirine Serguei Miridonov Francisco J. Mendieta Jiménez Enrique Mitrani Abenchuchan	5 de abril de 2005	Estados Unidos	US 6,876,786 B2
Sistema de fibra óptica para la detección y localización de fallas en estructuras mecánicas y oleoductos	Mikhail Chliaguine Vassili Spirine Serguei Miridonov Francisco J. Mendieta Jiménez Enrique Mitrani Abenchuchan	8 de mayo de 2006	México	236707
<i>Alarm condition distributed fiber optic sensor with storage transmission-reflection analyzer</i>	Vassili Spirine Mikhail Chliaguine Serguei Miridonov Francisco J. Mendieta Jiménez Alfredo Marquez Lucero Enrique Mitrani Abenchuchan	18 de abril de 2006	Estados Unidos	US 7,030,974 B2

► Investigaciones satelitales en el CICESE

Compiló Ulises Cruz*, con información proporcionada por Roberto Conte Galván**, Salvador Villarreal Reyes**, Arturo Serrano Santoyo**, Álvaro Armenta Ramade*** y Francisco Javier Mendieta Jiménez**

La investigación y desarrollo de tecnología espacial en el CICESE abarca casi 50 años. Empezó en 1976, con un proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) que propuso la utilización de satélites para cubrir las necesidades de telefonía rural en el vasto territorio mexicano, propuesta que resultó determinante para la adquisición de los primeros satélites que tuvo México, los Morelos I y II, a principios de los años 80.

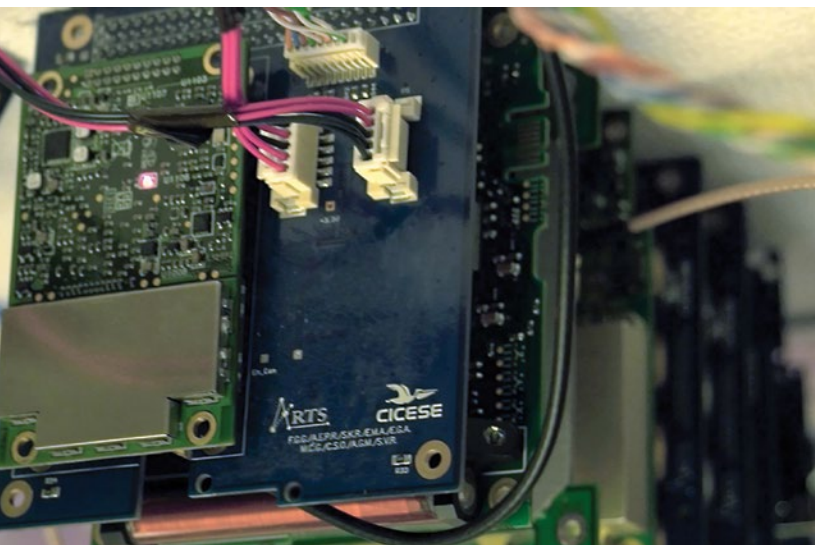
De entonces a la fecha, el CICESE ha apoyado y realizado actividades académicas en todas sus áreas de competencia, basadas en el uso de información obtenida desde, y a través de, el espacio exterior.



Al decir todas sus áreas de competencia no se refiere solamente a la conformación del Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones, sino a la consolidación de grupos de investigación pioneros en el uso de ciencia y tecnología espacial en los ámbitos de las ciencias físicas y de la ingeniería, las ciencias del mar, las ciencias de la Tierra y las ciencias de la vida, en el centro. Incluso de grupos en otros centros y universidades en México que hoy siguen desarrollando estas actividades de manera cotidiana.

Si pudiera sintetizarse qué ha hecho el CICESE en aspectos de docencia y desarrollo tecnológico en el área de tecnología espacial, abarcaría instrumentación electrónica y óptica, procesamiento de imágenes del territorio nacional desde el espacio, y comunicaciones por satélite.

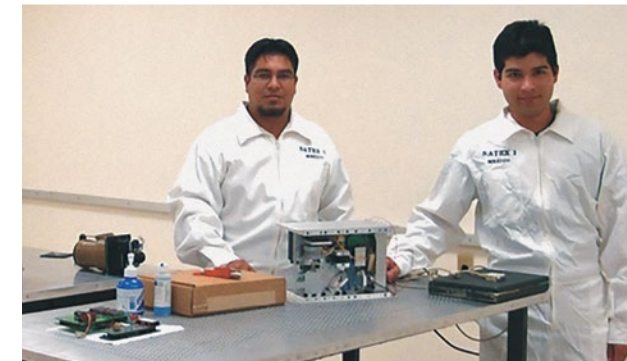
Una revisión con más detalle incluiría la evaluación de tecnología satelital nacional y extranjera, el desarrollo de hardware y software propios para actividades espaciales; el diseño, construcción y prueba de prototipos experimentales; el diseño de redes de comunicación por satélites geoestacionarios y de órbita baja; el análisis y especificación tecnológica para enlaces satelitales de órbita baja, y la evaluación de enlaces satelitales de varios tipos, órbitas y frecuencias para diversas aplicaciones digitales, habiendo participado activamente en las acciones que condujeron a la creación de la Agencia Espacial Mexicana (AEM) en 2010, en cuyos cuadros directivos iniciales estuvo personal de este centro.



También se trabajó en el diseño, desarrollo, pruebas, lanzamiento y operación de sistemas de satélites pequeños en colaboración con secretarías del estado federal, así como en el análisis y especificación regulatoria para satélites pequeños en órbita baja en colaboración con la SCT y el Instituto Federal de Comunicaciones (IFT).

Asimismo, en el análisis técnico, económico, industrial y operativo de satélites pequeños en órbita baja para el desarrollo de proyectos espaciales mexicanos, en colaboración con la UNAM, Instituto Politécnico Nacional y la UABC, entre otros.

Proyectos de tecnología espacial en el CICESE	Año
Proyecto de Telefonía Rural por Satélite	1976 - 1985
Diseño de Redes VSAT	1988 - 1996
Proyecto Satélites Solidaridad	1990 - 1994
Comunicaciones Móviles en Banda L	1990 - 1996
Evaluación de Estaciones de Terrenas Europeas	1991 - 1993
Proyecto Satex	1992 - 2000
Análisis de Negocios en Satélites	1996 - 2000
Análisis de Telefonía por Internet (VoIP) por Satélite	2001 - 2006
Análisis de Arreglos de Antenas Inteligentes a Bordo de Satélites	2005 - 2008, 2016 - 2023
Calidad de Servicio en Telemedicina por Satélite	2006 - 2023
Proyecto Nanosatélite Sensat	2008 - 2012
Proyecto CubeSat de tres unidades	2014 - 2022
Guía de Orientación Regulatoria (GOR) para satélites pequeños no sujetos a coordinación	2016
Herramientas de Ingeniería Industrial en la Planeación y Desarrollo de un Nanosatélite	2017
Análisis de Constelaciones de Satélites de Órbita Baja (LEOS), y Enrutamiento a Bordo en Redes Satelitales	2019 - 2023
Diseño, construcción y puesta en órbita de un sistema de nanosatélites propiedad de la Secretaría de la Defensa Nacional – Painani I	2019 - 2021



Otros estudios que se han hecho aquí abarcan diversos aspectos de la oceanografía física en un proyecto que se denominó de *Oceanografía por satélite* en los años 90, así como el uso de imágenes de percepción remota de costas, mareas y corrientes oceánicas, temperatura del mar, velocidad, altura y dirección del oleaje, seguimiento de tormentas, huracanes y prevención de tsunamis.

También incluyen investigaciones sobre efectos en el clima, el cambio climático y estudios atmosféricos; en biología marina, pesquerías y producción marina; en procesos ecológicos; en estudios de la corteza terrestre continental y suboceánica, monitoreo sísmico, producción de energía geotérmica, derrames y accidentes de hidrocarburos, así como distribución de contaminantes por corrientes superficiales y submarinas, entre otros estudios.

Casi todos los proyectos e iniciativas aquí mencionados fueron financiados por el estado mexicano, apoyados por estudiantes de posgrado del CICESE, y su trabajo resultante publicado en forma de tesis académicas, disponibles al público interesado.

*Integrante del Departamento de Comunicación.

**Investigador del Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones (EyT).

***Egresado del posgrado en EyT.



► Pruebas de detección y fármacos que vienen del mar

Alexei Licea*, Stephannie Lozano**

Cuando el doctor Alexei Licea se incorporó al grupo de Biotecnología Marina en el año 2000, le solicitaron que cambiara de especies de estudio para continuar investigando anticuerpos desde un enfoque biomédico.

Previamente, Licea había trabajado con anticuerpos de ratón, conejo y humano, así como con toxinas provenientes de alacranes, y unas proteínas estudiadas para aprovechar sus propiedades bioquímicas en el desarrollo de nuevos sistemas de diagnóstico y tratamientos terapéuticos.

Tras una búsqueda exhaustiva para determinar qué especies marinas eran las más convenientes, sin cambiar radicalmente de moléculas de estudio, quedó convencido de que trabajaría con anticuerpos de tiburón cornudo, *Heterodontus francisci*, y con el veneno de los caracoles marinos del género *Conus*, concretamente con

C. californicus, *C. ximenes* y *C. regularis*. En ese momento no imaginó que, por las características bioquímicas intrínsecas de estas moléculas, esta decisión conllevaría un gran número de éxitos académicos y generación de patentes.

En ese momento se asentaron las bases del actual Departamento de Innovación Biomédica, un área emergente del CICESE que destaca por la transferencia tecnológica hacia distintos sectores.

Un anticuerpo “convencional” es relativamente grande, ya que su peso promedio es de 150 kilodaltons (kDa). En cambio, si se aísla la región de un anticuerpo de tiburón que reconoce a su antígeno, se obtiene una proteína de tan solo 13 a 15 kDa, es decir, 10 veces más pequeño e ideal para el desarrollo de tratamientos farmacológicos.

Además, los anticuerpos de tiburón tienen una gran cualidad: son termoestables. La insulina utilizada por pacientes diabéticos debe de mantenerse en refrigeración, las vacunas contra covid-19 se almacenan en ultracongelación, lo cual incrementa los costos del medicamento. En contraste, un fármaco que utilice anticuerpos de tiburón puede almacenarse a temperatura ambiente, disminuyendo considerablemente su precio.



Del laboratorio a la empresa

En 2001 se sostuvo una reunión con la Dirección de Investigación y Desarrollo de Laboratorio Silanes, empresa farmacéutica mexicana, que al ver el potencial comercial de estos anticuerpos, no dudó en establecer una relación de varios años con el CICESE para el desarrollo de nuevas moléculas farmacológicas.

En 2007, el CICESE realizó su primera transferencia tecnológica a esta farmacéutica, la cual consistió en un grupo de anticuerpos con capacidad de neutralizar citocinas humanas. Entre estas se encontraba la VEGF, una proteína que provoca pérdida de la visión en pacientes diabéticos sin control adecuado.

El tratamiento para detener el proceso de pérdida visual consiste en que un profesional de la salud inyecte un anticuerpo “convencional” directamente en cada ojo del paciente para neutralizar el efecto del VEGF. La apuesta de la farmacéutica fue utilizar el anticuerpo de tiburón que, por pequeño, podría penetrar en el ojo del paciente a través de una solución de gotas.

Otro proyecto licenciado a una empresa consistió en utilizar un anticuerpo de tiburón para diagnosticar tuberculosis bovina. Debido a la gran variedad de eritrocitos en los bovinos, el anticuerpo no fue capaz de reconocer todos los tipos, y desafortunadamente el desarrollo tecnológico no pudo continuar.

Sin embargo, posibilitó el desarrollo de un anticuerpo de tiburón que sí reconoce eritrocitos humanos. Esto permitió crear un método rápido y eficaz para diagnosticar tuberculosis humana, el cual también detecta el Virus de Inmunodeficiencia Humana.

Este diagnóstico puede realizarse en solo tres minutos y no requiere de equipo de laboratorio. Actualmente cuenta con registro ante la Cofepris en México, y se encuentra en proceso de registro en Indonesia y varios países de África.

Durante la pandemia de covid-19, el CICESE tuvo una participación sobresaliente en colaboración con el sector salud estatal: se aisló un anticuerpo de tiburón con capacidad de neutralizar por completo la infección de SARS-CoV-2 en sus variantes Delta y Ómicron.

Por otro lado, las toxinas de los caracoles marinos han servido para desarrollar medicamentos potenciales para la diabetes tipo II. Una de estas proteínas aislada y caracterizada induce la liberación de insulina de las células pancreáticas, en altos niveles.

Adicionalmente, se aisló e identificó una proteína con una potente actividad analgésica. Más potente que la morfina, puede eliminar la sensación de malestar, por lo cual podría utilizarse en dolores crónicos y postquirúrgicos. La gran ventaja de esta proteína es que no genera la adicción de opioides, como la morfina y el fentanilo.





Otros padecimientos o infecciones que se pueden combatir con el uso de las proteínas aisladas de *Conus*, es la tuberculosis, enfermedad que afecta a una de cada tres personas en el mundo cuando se infectan con *Mycobacterium tuberculosis*. Grandes esfuerzos se han realizado para emplear este tipo de proteínas en el tratamiento de distintos cánceres, como el de mama, cervicouterino, colon, próstata, de testículo y de pulmón.

Estos logros permitieron que en 2012 se gestionaran recursos económicos para construir y equipar completamente la Unidad de Desarrollo Biomédico, área que cuando contó con la masa crítica adecuada de investigadores, personal técnico y administrativo, se convirtió en el actual Departamento de Innovación Biomédica del CICESE.

Con ello, se establecieron nuevas líneas de investigación, enfocadas a enfermedades infectocontagiosas y crónico degenerativas; la aplicación de ciencias ómicas en el desarrollo biomédico y biotecnológico, así como la regulación de las funciones que provocan la inmunidad en el cuerpo humano.

*Investigador y director de Impulso a la Innovación y Desarrollo.
*Coordinadora del Departamento de Comunicación.

Biofotónica

Roberto Ulises Cruz Aguirre*

Hace 10 años, con motivo del 40 aniversario del CICESE, los doctores Héctor Escamilla y Eugenio Méndez valoraron el desarrollo que había tenido hasta entonces el Departamento de Óptica, del que son investigadores.

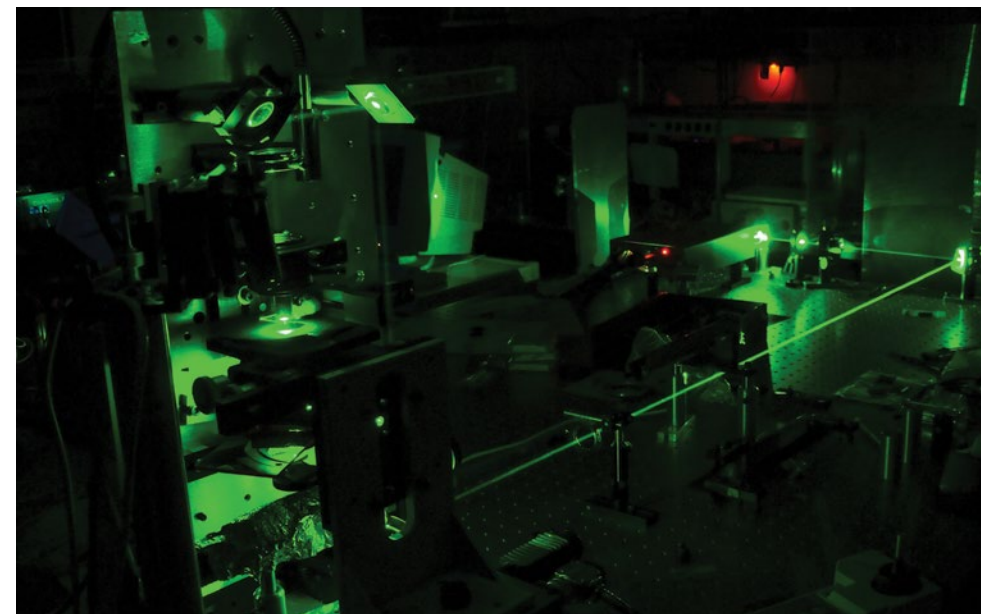
En su texto "La ciencia de la luz", publicado en el libro *CICESE: los primeros 40 años*, destacan que luego de las contrataciones y equipamiento que se logró en los años 90, la temática de investigación no había cambiado mucho en los últimos años. "Destaca la apertura de líneas de investigación en procesamiento láser de materiales, óptica cuántica y microscopios no lineales. (...) Hay esfuerzos para incursionar en otras áreas, como biofotónica y plasmónica, y para establecer colaboraciones con grupos de medicina y biología. La interdisciplinariedad es una de las áreas de oportunidad que habrá que fomentar en los próximos años".

Luz para hacer ciencia

Cuando mencionan procesamiento láser de materiales, biofotónica y la necesidad de establecer colaboraciones con grupos de medicina y biología, se refieren precisamente al trabajo que ha desarrollado el actual grupo de Láseres de pulsos ultracortos y procesamiento de materiales en ese lapso.

Una de las interacciones más interesantes que tiene la luz con la materia, particularmente con tejido biológico, y de las que más investigación ha generado alrededor del mundo en laboratorios de prestigio en Canadá, Estados Unidos, Japón, Inglaterra, Francia, Alemania, es la que involucra trenes de pulsos de luz conformados con docenas o centenas de pulsos ultracortos en frecuencias altas.

Ultracortos se refiere a pulsos láser con duración menor a 100 femtosegundos (un femtosegundo –fs– es la milbillonésima parte de un segundo, o un 1 precedido por 14 ceros), y frecuencias altas las que están por arriba de 25 megaHertz (MHz).



El CICESE fue la primera institución en México que trabajó con pulsos láser ultracortos, desde 1994, con los doctores Mehrdad Mohebi, Nooshin Jamabi Jahromi y Diego Yankelevich. Ese año ingresó también el doctor Raúl Rangel Rojo, y se sumó al grupo el doctor Roger Cudney, quien ya trabajaba en el Departamento de Óptica.

Al poco tiempo dejaron la institución Mohebi, Jamabi y Yankelevich, pero el núcleo académico pudo seguir trabajando con láseres que literalmente ellos mismos armaban, como el que desarrolló en 2001 Jesús Garduño Mejía para su doctorado (*Láser de Ti:Zaf con cavidad de anillo y pulsos de femtosegundos de operación bidireccional*, tesis dirigida por el doctor Rangel), o con el primer amplificador de pulsos ultracortos que se desarrolló en América Latina, a partir de la tesis de doctorado de Alejandro Ruiz de la Cruz (*Construcción y caracterización de varios diseños de amplificador multi-paso en un sistema CPA*), dirigida también por Raúl Rangel y presentada en agosto de 2006.

Diversa bibliografía define la fotónica como la ciencia que permite producir, controlar y detectar fotones (partículas de luz). Esta disciplina tiene diversas ramas, entre las cuales destaca la biofotónica, que es la encargada de aprovechar la luz como terapia y como un medio de diagnóstico en el área médica, ya que nos permite utilizar las técnicas ópticas para estudiar y estimular moléculas biológicas, células y tejidos sin comprometer su integridad.

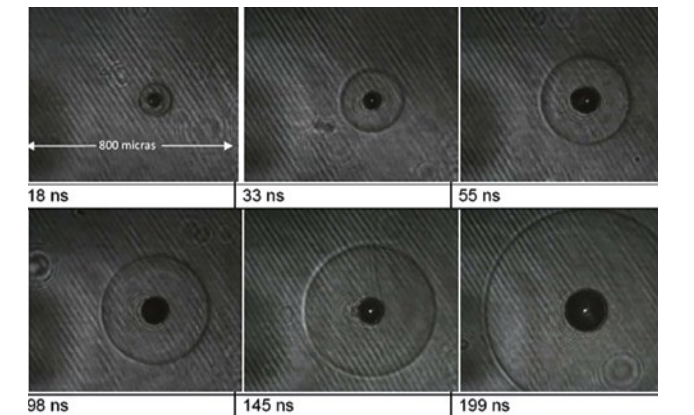
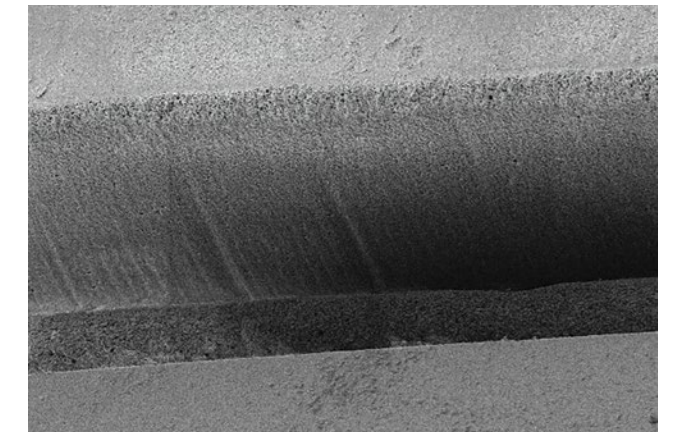
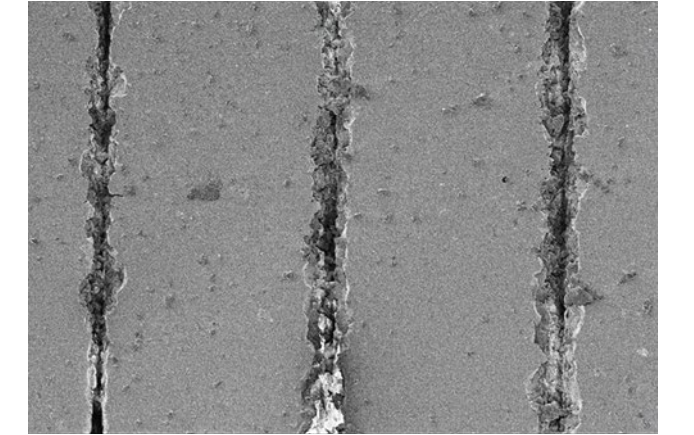
Contribuciones a la oftalmología

Con la incorporación del doctor Santiago Camacho López al CICESE en octubre de 2003, el Departamento de Óptica se distinguió como el primero en México donde se estudiaron los efectos inducidos por pulsos láser ultracortos en tejido biológico. Esto ocurrió en 2004, motivado por algunos problemas que se presentan en procedimientos oftálmicos que utilizan láseres de emisión continua, como el daño catastrófico al tejido ocular provocado por calentamiento excesivo, y que captó el interés de la Clínica de Ojos de Tijuana y Oftálmica Internacional para desarrollar, bajo convenio, este novedoso tema de investigación.

En este mismo sentido, se les propuso un proyecto de investigación aplicada para desarrollar un instrumento para medir la presión intraocular (tonómetro) basado en el fenómeno conocido como cavitación inducida por láser en líquidos. Este desarrollo apoyaría el diagnóstico médico del glaucoma y se basa en el uso de láseres de pulsos ultracortos para generar una burbuja que alcanza un tamaño máximo y eventualmente se colapsa. "Si somos capaces de medir el tamaño de esta burbuja y el tiempo de colapso, podemos determinar la presión del líquido (el humor acuoso) donde generamos la burbuja, en este caso la presión intraocular", indicó Santiago Camacho.

Este tratamiento se podría usar en personas que, por tener una córnea muy delgada o débil, no son elegibles para el tratamiento común que presiona físicamente el ojo, por lo que representa una alternativa importante.

En 2004, en paralelo, Camacho estableció una colaboración con el *Laboratory of Transport Phenomena for Biomedical Applications*, de la Universidad de California en Riverside (UCR), para llevar a cabo investigaciones de irradiación de tejido biológico usando pulsos láser ultracortos. En 2010, el Departamento de Ingeniería Mecánica de esta universidad lo nombró profesor adjunto.

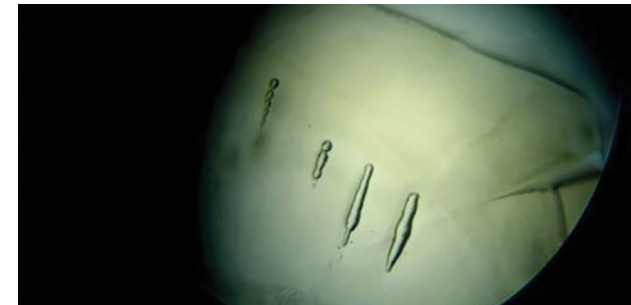
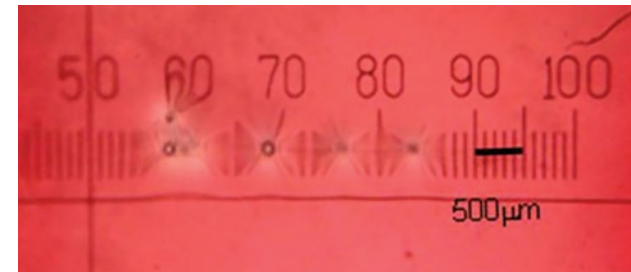
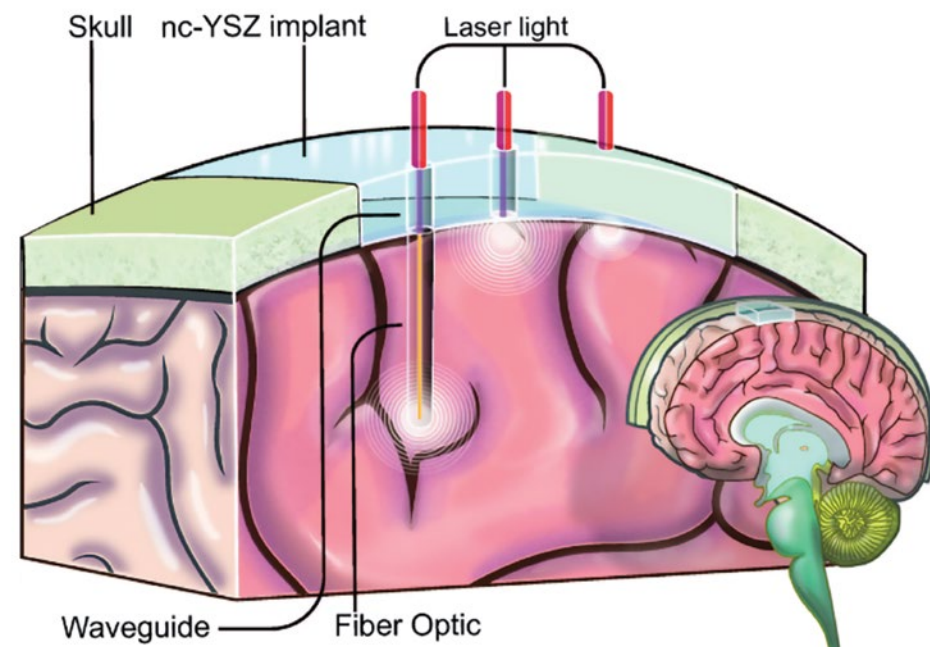


Un proyecto emblemático

De esta colaboración, en 2013 comenzó uno de los proyectos de óptica biomédica más emblemáticos. Se trata de "Ventana al cerebro", que toma su nombre porque plantea usar una cerámica transparente compatible con el tejido humano que podría implantarse para sustituir segmentos del cráneo, permitiendo (por ser transparente) no solo acceso visual para el diagnóstico y monitoreo en el caso de tumores, embolia y lesiones por trauma tanto en el cerebro como en la médula, sino la posibilidad de ofrecer tratamientos terapéuticos basados en el uso de la luz, que son menos invasivos.

La cerámica es óxido de zirconio dopado con itrio que ya se utilizaba en prótesis dentales y de articulaciones, pero que el doctor Javier Garay (UCR) la volvió transparente, al tiempo que otro especialista en materiales de esta universidad, el doctor Guillermo Aguilar, caracterizó sus aplicaciones biomédicas. La aportación de Santiago Camacho y su grupo en el CICESE se centró en el procesamiento láser de estas cerámicas para escribir guías de onda y así dirigir la luz a un punto específico del cerebro.

De tener financiación original de la UCR y del Conacyt, en 2015 "Ventana al cerebro" se conformó como un colectivo en el que participaron nueve investigadores en total: seis de la UCR y tres mexicanos (UNAM, INAOE y CICESE), con financiamiento a cinco años por cinco millones de dólares aportados por la Fundación Nacional de Ciencias de EEUU, el Conacyt y las tres instituciones mexicanas participantes.



Decir que este proyecto es emblemático es poner el acento en la palabra innovador, pues a lo largo de su desarrollo pudo generar soluciones "en cascada", a cual más de novedosas, para avanzar en su desarrollo.

¿A qué nos referimos? Hacer que un líquido sustituya las funciones de una aguja al momento de inyectar soluciones, utilizando láseres para generar miles de diminutos chorros por segundo; atacar infecciones bacterianas empleando métodos ópticos en lugar de antibióticos, o concebir tratamientos en tumores usando calor en puntos muy específicos (de unas 50 micras) del cerebro utilizando fibra óptica y nanotubos de carbono.

A fin de cuentas, esto es lo que hace la ciencia: desarrollar soluciones que permitan enfrentar nuevos retos.

*Integrante del Departamento de Comunicación.

► Mediciones de equipos y dispositivos electrónicos sin interferencias ni reflexiones

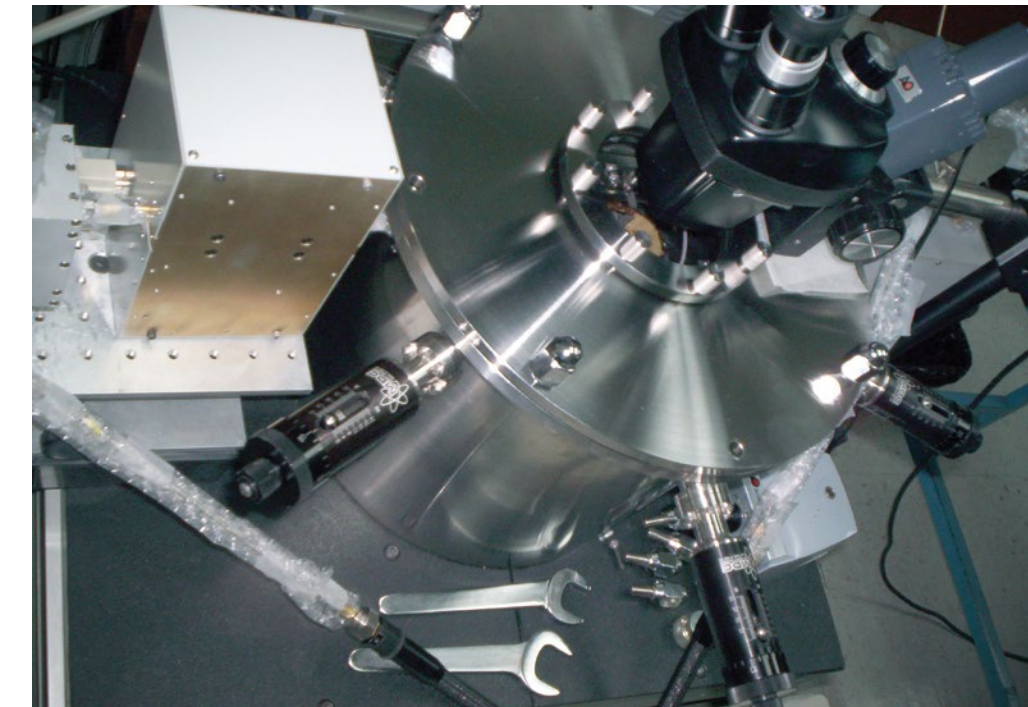
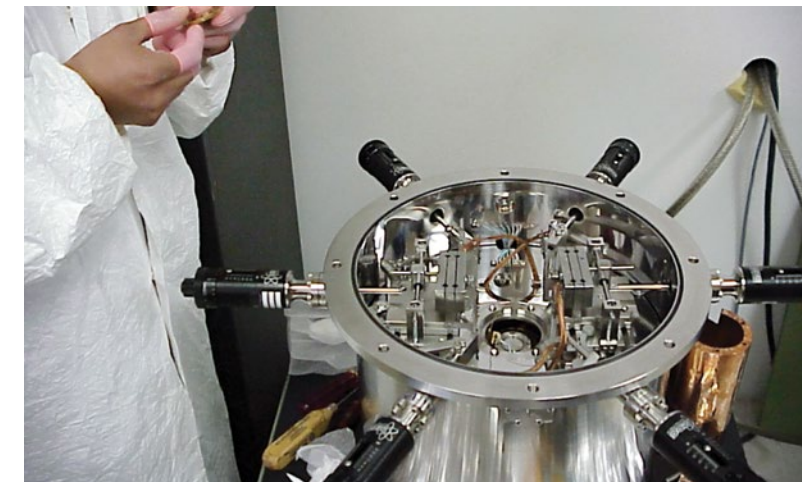
Roberto Ulises Cruz Aguirre*

Imagina que estás desarrollando un satélite de comunicaciones. Seguro tu diseño llevará dispositivos, componentes y circuitos que estarán operando en altas frecuencias y a temperaturas extremadamente bajas. ¿Cómo saber con anticipación si los componentes funcionarán como deben hacerlo estando en órbita? O bien, vas en tu automóvil, pasas cerca de un aeropuerto y de repente tu sistema de frenos falla o las bolsas de aire se activan debido a que las tarjetas de los sistemas electrónicos que los operan, al ser radiados por señales de alta potencia, fallaron o cambiaron su respuesta por estas perturbaciones.

Evitar estas fallas pasa por medir previamente y caracterizar la respuesta de estos dispositivos cuando operan a temperaturas extremadamente bajas, o en un entorno que los especialistas denominan el espacio libre, donde se pueden realizar mediciones de equipos o dispositivos electrónicos de una manera totalmente libre de interferencias y reflexiones.

Cámara criogénica

Para caracterizarlos ocupas, en el primero de los casos, de una cámara criogénica en cuyo interior puedas realizar mediciones; en el segundo, una cámara anecoica, y ambas fueron desarrolladas íntegramente en el CICESE en 2000 y 2016, respectivamente, por el grupo de Radiofrecuencia y Microondas del Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones.



En el caso de la cámara criogénica, fue primera en México que permitió caracterizar dispositivos, componentes y circuitos de microondas y ondas milimétricas desde la corriente directa (DC), es decir, que no varía su frecuencia, hasta 40 gigaHertz (GHz) a temperaturas extremadamente bajas; por ello, el CICESE se ubicó al mismo nivel que los principales laboratorios de instituciones norteamericanas y europeas en esta área.

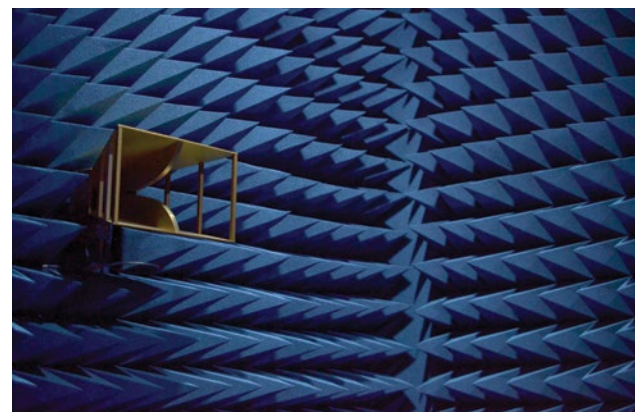
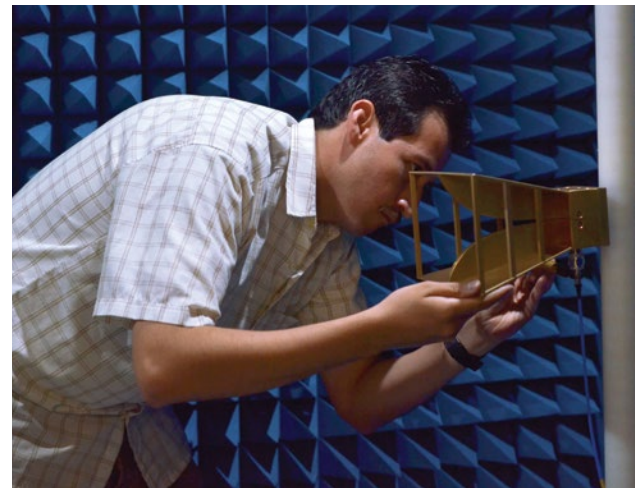
En el desarrollo de este sistema criogénico participaron los doctores José Luis Medina Monroy y Ricardo Chávez Pérez, investigadores de dicho departamento; Juan Carlos Islas López, con su tesis *Sistema criogénico para la medición de parámetros "S" de transistores de microondas*, y personal del taller de Metalmecánica liderados por Raúl Moreno, quienes maquinaron la cámara en acero inoxidable.

Generalmente todo sistema criogénico que se emplea en la caracterización de dispositivos de microondas está constituido de tres subsistemas: el de criorefrigeración, el de vacío y el de pruebas de radiofrecuencia. El último, a su vez, incluye tres componentes: un sistema de posicionamiento mecánico que permite colocar las puntas de prueba sobre el dispositivo a medir; un sistema de abastecimiento de energía de DC para efectos de polarización de dispositivos y otros elementos adicionales, y un sistema de medición de radiofrecuencia (hasta 40 GHz) que incluye el diseño y construcción de dos bridas que permiten acoplar los conectores de radiofrecuencia del analizador de redes del Laboratorio de Altas Frecuencias, a la cámara de vacío.

Con relación al subsistema de vacío, debió seleccionarse, probar e incorporar bombas, sensores, medidores, válvulas, materiales, sellos, grasas y otros accesorios. En términos generales, el sistema criogénico desarrollado en el CICESE permitió alcanzar temperaturas hasta de 10.8°K (-262°C) y vacíos del orden de 10^{-5} Torr, suficientes como para que este grupo de investigación pudiera establecer colaboraciones con el *Jet Propulsion Lab* (JPL) de la NASA y con el *Georgia Tech*, de Atlanta.

Cámara anecoica

El otro desarrollo que vino a catapultar la realización de mediciones de equipos o dispositivos electrónicos de una manera totalmente libre de interferencias y reflexiones fue una cámara anecoica, que este mismo grupo habitó en el Laboratorio de Altas Frecuencias.



No fue la primera en México, pero sí la única donde podrían hacer mediciones en frecuencias de hasta 40 GHz, gracias a los equipos (generadores y analizadores de redes y de espectros, algunos con tecnología de arseniuro de galio) de este laboratorio, pionero y uno de los mejor equipados en el país desde los años 80, que se ubica en el edificio de Física Aplicada.

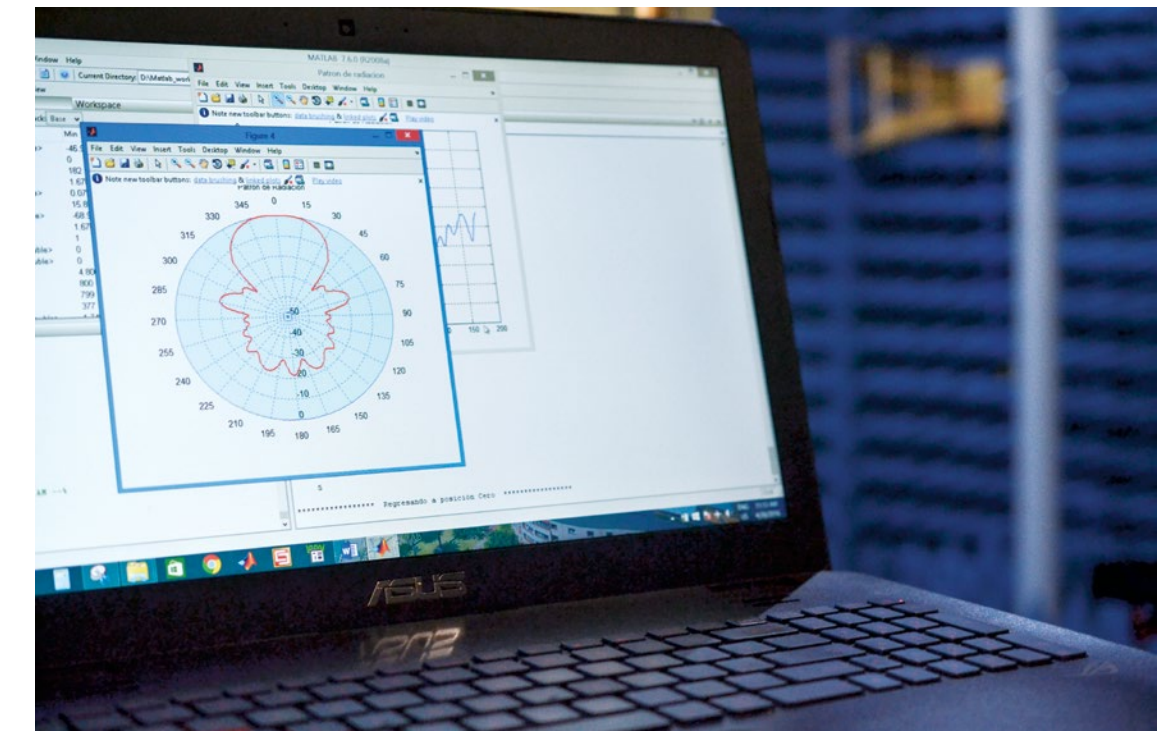
En ese edificio, el primero que se construyó en el campus CICESE (1979), desde su concepción, se consideró fabricar una jaula de Faraday que finalmente ocupó una sección del Laboratorio de Altas Frecuencias. Se trata de un cuarto blindado, como si fuera una caja, que no deja entrar señales provenientes de estaciones de radio, de televisión, de antenas de telefonía celular o wi-fi, entre otras.

Con recursos del Conacyt, en 2016, se reacondicionó este cuarto para transformarlo en una cámara anecoica: además de no permitir la entrada de interferencias externas, su interior se forró con estructuras piramidales que, por su forma y manufactura de poliuretano cargado con partículas de carbón u otros materiales, “absorben” y transforman las ondas electromagnéticas en otro tipo de energía. De esta manera, cuando en el interior de la cámara un dispositivo emite una señal, esta no se refleja (no “rebota”) y, en consecuencia, no afecta medición alguna.

Además de cambiar el forro de la jaula por *absorbers*, también se modificó el mecanismo de cierre de la puerta y se colocó un filtro para la línea eléctrica que alimenta el interior de la cámara. Así, la línea “sucia” llega al filtro y de ahí sale “limpia” hacia adentro, evitando que pase cualquier señal de radiofrecuencia no deseada. Se diseñó y construyó un filtro USB para evitar que las interferencias entren a la cámara, una mesa rotatoria y se instalaron las antenas de banda ancha requeridas para mediciones de compatibilidad electromagnética (EMC) de circuitos y antenas. Además, el sistema totalmente automatizado con que opera también fue desarrollado en este centro de investigación.

Actualmente, otras instituciones y empresas privadas que contaban con cámaras anecoicas, como el Instituto Politécnico Nacional, la Universidad de Colima o Plantronics, que solo les permitían hacer mediciones a frecuencias de 8 a 18 GHz, cuentan con el apoyo de la cámara del CICESE, ya que alcanza un rango de hasta 40 GHz; así, se fortalece la colaboración con la academia y empresas de la región.

*Integrante del Departamento de Comunicación.



Vinculación

Ulises Cruz, Jazmín Félix, Norma Herrera, Stephannie Lozano y Karla Navarro
Integrantes del Departamento de Comunicación.

ALIADOS ESTRATÉGICOS

Desde la década de los 70, el CICESE ha realizado proyectos en colaboración con grandes aliados, como la Comisión Federal de Electricidad (CFE), la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), Petróleos Mexicanos (Pemex), el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) y Teléfonos del Noroeste (Telnor).



Teléfonos del Noroeste

En los 90 esta alianza permitió redefinir el modelo de gestión de la oferta tecnológica del CICESE y canalizar servicios de capacitación, promoción institucional y de convivencia entre su personal. Bajo convenio se desarrolló un tasador de pulsos para llamadas telefónicas y conmutación basada en tecnología ISDN (red digital de servicios integrados). Se estableció un programa de capacitación y educación continua para el personal técnico; Telnor emitió dos tarjetas Ladatel conmemorativas del CICESE para teléfonos públicos, y se organizaron paseos ciclistas y convivios para trabajadores y estudiantes.



Petróleos Mexicanos

Con Pemex y el IMP se han realizado proyectos en oceanografía, exploración de suelos, biorremediación y desarrollo de sensores. A fines de los 90 y en 2005 se desarrollaron estudios estratigráficos para evaluar yacimientos y el probable potencial petrolero en el Alto Golfo de California. Además, estudios para conocer la corrientometría profunda, circulación superficial y la oceanografía a detalle del Golfo de México, a fin de explorar yacimientos en el mar profundo. Con biorremediación se trabajó una zona contaminada de Veracruz, y se evaluaron sensores de fibra óptica que miden temperatura y presión en pozos petroleros y detectan fugas y tomas clandestinas en ductos.



Comisión Federal de Electricidad

Esta alianza comenzó en los 70 con el monitoreo sísmico y geofísico del campo geotérmico de Cerro Prieto. De esta colaboración surgió el primer sismógrafo digital que, por telemetría, transmitió señales en tiempo real. Los métodos sísmicos, eléctricos, magnetotéluricos, modelos de velocidad, geohidrológicos y de sondeo desarrollados en el CICESE se probaron en los campos geotérmicos que opera la CFE en México, al tiempo que exploraba nuevos campos en Baja California, Baja California Sur, Puebla, Michoacán, Sinaloa y Jalisco. Se caracterizaron cuatro unidades de la nucleoelectrónica en Laguna Verde; se construyó equipo automatizado de resistividad para sondear el valle de San Felipe y se elaboró la carta geotérmica de Baja California, entre otros aportes.



Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Con el Plan Nacional de Telefonía Rural y el Plan Nacional de Comunicaciones Vía Satélite, los grupos de telecomunicaciones y altas frecuencias del CICESE progresaron y se consolidaron. Desde los 80 se ha evaluado tecnología, *hardware* y *software* para actividades espaciales. Se han diseñado, construido y probado prototipos experimentales, redes de comunicación para satélites de órbita baja, y analizado especificaciones tecnológicas y aplicaciones digitales para enlaces satelitales de diferentes tipos, órbitas y frecuencias. Algunos estudios en alianza con el Instituto Mexicano de Comunicaciones.



Proyectos destacados

La vinculación institucional está agrupada en las siguientes categorías:



INVESTIGACIÓN

Proyectos con financiamiento de empresas, gobiernos u organizaciones para generar conocimiento científico.

• **1985.** Red de acelerómetros para estudiar la distribución de la sismicidad en la hoy Ciudad de México. Fundación ICA. Alfonso Reyes. En 1991 se instrumentó el edificio del Puesto Central de Control. Sistema de Transporte Colectivo Metro.

• **1990.** Estudio magnetotérmico del campo geotérmico de Ahuachapán-Chipilapa. Mario Martínez y José Manuel Romo. Gobierno de El Salvador.

• **1994.** Comienzan los estudios de riesgo sísmico en zonas vulnerables de Tijuana. Ayuntamiento de Tijuana y gobierno de Baja California.

• **1996.** Proyecto Cortes-P96: perfiles de reflexión y refracción sísmica en el Golfo de California. Luis Delgado. Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología de España.

• **1998.** Proyecto RADIUS (*Risk Assessment Tools for Diagnosis of Urban Areas against Seismic Disasters*). Luis H. Mendoza Garcilazo. ONU, Ayuntamiento de Tijuana.

• **2001.** Estudios ambientales para la reintroducción del cóndor de California a la Sierra San Pedro Mártir. Horacio de la Cueva. Instituto Nacional de Ecología.

– Desarrollo de vehículos de vacunación de alto impacto utilizando moléculas inmunológicas de tiburón. Alexei Licea. Laboratorios Silanes.

• **2004.** Diagnóstico ambiental para la conservación de Isla Guadalupe y recuperación del bosque de cipreses. Pedro Peña Garcillán. INE, Conacyt.

• **2005.** Unidad de producción de semillas de lenguado. Juan Pablo Lazo y Benjamín Barón. Sagarpa. En 2008 se construyó el Laboratorio de Producción de Peces Marinos.

– Desarrollo y prueba de metodología geofísica para evaluar la vulnerabilidad del agua subterránea en Baja California. José Manuel Romo. Semarnat, Conacyt.

• **2006.** Desarrollo de técnicas de caracterización de partículas de pigmentos. Eugenio Méndez. Pinturas Comex.

• **2007.** *Bridging the digital divide and reducing poverty in rural Mexico*, se instaló una estación terrena satelital para acceso a internet en San Miguel Tlacotepec, Oaxaca. Arturo Serrano. Centro de Estudios México-Estados Unidos de la UCSD, CIDE y USAID.

– Inicia el Proyecto integral de mediciones oceanográficas para Pemex en el Golfo de México, base del megaproyecto meteoceánico.

Antecedente: proyecto Canek (1996).

• **2010.** Proyecto para establecer línea base y monitoreo del derrame de crudo de la plataforma *Deep Water Horizon*, y subsecuentes cruceros Xiximi. Sharon Herzka. INE-Semarnat, Conabio y Conacyt.

• **2011.** Esquema de monitorización acústica de vaquita marina. Horacio de la Cueva. Instituto Nacional de Ecología.

– Estudio para determinar la presión intraocular con una técnica de cavitación láser. Santiago Camacho. Clínica de Ojos de Tijuana y Oftalmica Internacional.

– Estudio sobre la situación actual y bajo escenarios de cambio climático de la industria vitivinícola de Baja California. Teresa Cavazos. INE, Senado de la República.

– Inauguran el Laboratorio de Ficotoxinas, para investigar y monitorear florecimientos algales nocivos. Ernesto García. Productores pesqueros y Fordecyt.

• **2012.** Diagnóstico sobre la disminución de las poblaciones de abulón en la costa occidental de la península de Baja California y estrategias para atenuar impactos. Jorge Cáceres. Fondo sectorial Sagarpa-Conacyt, a petición de la Fedecoop.

– Inauguran el Subsistema Nacional de Recursos Genéticos Acuáticos. Carmen Paniagua Chávez. Sagarpa e Inapesca.

Antecedente: banco de germoplasma CICESE 2003): desarrollar protocolos de criopreservación de material reproductivo de especies acuáticas.

• **2013.** Comienzan los estudios para el Parque Submarino Rosarito. En 2015 la Armada de México hunde una embarcación. 2019: primeros resultados de colonización del arrecife artificial. Victoria Díaz y Luis Gustavo Álvarez. CCDER, CEDT, CCE, Baja California Divers y gobierno de Baja California.

– Búsqueda y caracterización electromagnética de fogones del grupo Yumano en el municipio de Ensenada, B.C. Marco Antonio Pérez Flores, Edgardo Cañón Tapia. INAH.

• **2017.** Cooperación México-Europa para la investigación de Sistemas Geotérmicos. José Manuel Romo. Consorcio de 24 instituciones europeas, mexicanas y empresas.

– Campaña oceanográfica CICESE-JPL/NASA, en apoyo al proyecto Generación de remolinos superficiales en el mar patrimonial mexicano. José Gómez Valdés. NASA.

• **2018.** Riesgo de impacto entre aves y aviones en el aeropuerto de La Paz, B.C.S. Cecilia Soldatini. Grupo Aeroportuario del Pacífico.

• **2021.** Despliegue de una flota de cinco *saildrones* para validar mediciones satelitales y modelos oceanográficos en el océano Ártico. José Gómez Valdés. NASA.

• **2022.** Estudios sobre peligro sísmico en Chiapas y Oaxaca. Diego Ruiz Aguilar y José Manuel Romo Jones. CalTech y UNAM.



DESARROLLO

Iniciativas que culminaron en un desarrollo o prototipo para usuarios de distintos sectores.

• **1980.** Se construyó un controlador digital para radioteléfono, en el marco del proyecto Plan Nacional de Telefonía Rural. Jorge Valerdi.

– Amplificador de estación terrena para comunicaciones por satélite. Jorge Valerdi.

– Caracterización de estación terrena para comunicaciones espaciales. Jorge Valerdi.

• **1985.** Se desarrolla un conmutador telefónico digital para la empresa Armex Comunicaciones. Jaime Sánchez.

• **1991.** Se concluyó el Inventario de Recursos Mineros para el gobierno de Baja California. Arturo Martín Barajas.

– Desarrollo de un tasador de pulsos para llamadas telefónicas. Telnor. Jaime Sánchez.

• **2004.** Elaboración de normas mexicanas para telecomunicaciones inalámbricas (telefonía celular). Arturo Serrano. Cofetel.

• **2006.** Se desarrollan prototipos y software para enlazar, vía telefonía celular, una ambulancia y una sala de urgencias. Arturo Serrano. Consorcio Médica Sur.

• **2008.** Plan Estatal de Cambio Climático. Tereza Cavazos. Gobierno de Baja California.

• **2009.** Comienza la creación de aplicaciones y propuestas tecnológicas de cómputo ubicuo para diagnóstico y terapia de niños con autismo. Se tienen 13 desarrollos, el último, FarmerKeeper, presentado en 2022. Mónica Tentori.

• **2012.** Creación del Sistema Nacional de Alerta de Tsunamis, integrado por las secretarías de Gobernación, Marina y de Comunicaciones y Transportes. De éste depende el Centro de Alerta de Tsunamis, donde participan el CICESE y la UNAM. Los estudios de Modesto Ortiz en el tema fueron base en la conformación de esta iniciativa.

• **2013.** Atlas de Riesgo de Baja California. Luis Humberto Mendoza. Gobierno de Baja California.

• **2015.** La Unidad de Transferencia Tecnológica Tepic del CICESE ha consolidado 10 desarrollos tecnológicos que están listos para ser comercializados o transferidos, y detenta 20 derechos de autor y una patente, pues su misión es generar y transferir aplicaciones innovadoras basadas en sistemas interactivos e inteligentes.

– Se desarrolla el Kiosko de la Salud, con el sistema A-Prevenir®, un interactivo de toma de signos vitales y somatometría. Salvador Villarreal.

• **2019.** Se pone en órbita el Painani-I, el primer nanosatélite mexicano desarrollado para la Secretaría de la Defensa Nacional. Salvador Villarreal.



COLABORACIÓN ACADÉMICA

Convenios y alianzas con instituciones académicas y consorcios de investigación de gran alcance para incrementar el conocimiento y formar recursos humanos.

• **1979.** El CICESE participa en la conformación del consorcio Centros de Investigación de Baja California y Scripps Institution of Oceanography (CIBCASIO).

• **1980.** El CICESE participa en el programa *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations* (CalCOFI).

• **1982.** Por convenio, el BID otorgó 12 millones de pesos para nueva instrumentación y equipo complementario para ampliar Resnor.

• **1995.** Por gestiones con la OEA y el IMC, se obtiene equipamiento que transforma el Laboratorio de altas frecuencias, en el Laboratorio de arseniuro de galio con aplicaciones a telecomunicaciones ópticas y microondas.

– Rubén Lara, investigador del CICESE, es designado director del Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global. Se instala en el CICESE la representación para México.

• **1997.** Comienza el programa Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California (Imecocal), para describir los procesos físicos, biológicos y la dinámica del ecosistema de la Corriente de California. Aunque interno, el programa ha permitido establecer colaboraciones con instituciones que estudian los mismos temas en esta región.

• **1999.** El CICESE es socio fundador de la Corporación Universitaria para el Desarrollo de Internet (CUDI), que impulsó el desarrollo de Internet 2.

• **2007.** Inicia el programa Flucar: Fuentes y sumideros en los márgenes continentales del Pacífico Mexicano. Rubén Lara. Participan nueve instituciones mexicanas y cuatro de Estados Unidos.

• **2013.** Incorporación al consorcio europeo Oli-PHA para crear un biopolímero biodegradable a partir de aguas residuales del proceso de producción de aceite de oliva.

• **2014.** Se integra la Red Temática sobre Florecimientos Algales Nocivos (RedFAN). El CICESE coordina el Comité Técnico Académico.

– Se crea el Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica (CEMIE-Geo) para potenciar el uso de esta energía. El CICESE lidera a 22 instituciones académicas y empresas mexicanas. Fondo Sener-Conacyt Sustentabilidad Energética.

• **2015.** El CICESE lidera el Consorcio de Investigación del Golfo de México (CIGoM), con base en un megaproyecto del Fondo Sener-Conacyt Hidrocarburos.

• **2017.** Nacen el Consorcio de Óptica Aplicada –CIO, INAOE, CICESE– en nuestra Unidad Monterrey, y el Consorcio de Energías Renovables, con CIMAV, CIO, CIDESI y CICESE.

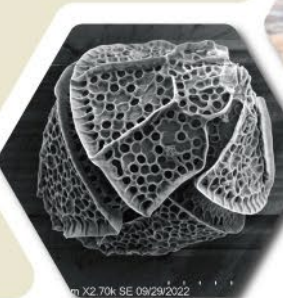
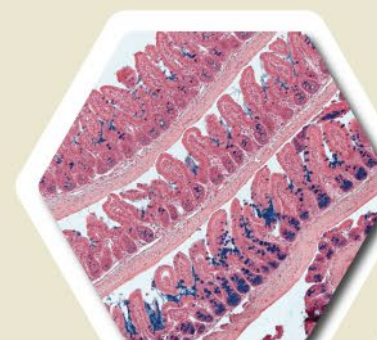
– Membresía del CICESE al Comité Ejecutivo del programa internacional *Partnership for Observation of the Global Oceans (POGO)*.

• **2019.** Proyecto Arca de Noé del coral mexicano, para crear un plan de acción regional enfocado a la conservación de germoplasma de los corales. CICESE, Subnargena, UNAM y CRIP-Inapesca.

– Recopilación y análisis de información para mejorar la investigación, los planes de conservación y el manejo de aves marinas y sus hábitats en islas y archipiélagos del noroeste de México. CICESE, CICESE-La Paz, UABCS, Inecol y Universidad Veracruzana.

• **2022.** Sistema de observación y alerta temprana de sargazo. Paula Pérez Brunini coordina a 20 investigadores de 10 instituciones académicas. Conacyt, vía el CIGoM.

– El grupo de investigación en cáncer y patologías óseas presenta resultados de caracterizar el efecto del sistema inmune en la metástasis ósea, y en desarrollar estrategias de inmunoterapia para brindar tratamiento en metástasis. Universidades de Virginia e Indiana, UNAM, American Society for Bone and Mineral Research, Bone and Cancer Foundation.



EMPRENDIMIENTO

Empresas creadas por investigadores y estudiantes; patentes y licenciamientos que han generado transferencia de conocimiento.

• **1984.** Se transfiere la tecnología de fabricación de polarizadores de calcita a la empresa Prisma Laser de México, S.A. de C.V., de Chihuahua.

– Instrumentación electrónica, sistemas de control y capacitación. Jesús Ibarra. Consorcio minero Benito Juárez – Peña Colorada, Colima.

– Marco Machado, entonces investigador del CICESE, fundó la empresa Augen Optics, productora de lentes con vidrio oftálmico.

• **1987.** Luis Enrique Celaya, entonces investigador del CICESE, abre la empresa Calipo, S.A. de C.V., para fabricar polarizadores de calcita.

– Carlos Duarte, entonces investigador del CICESE, crea Digital-Data, empresa de fabricación de microcomputadoras y redes para PC's.

• **1990.** Se instaura la Incubadora de Empresas de Base Tecnológica en Ensenada, la primera del país. Fideicomiso con Nacional Financiera y el Conacyt.

• **1991.** Se instituye la Dirección de Gestión Tecnológica, primera en su tipo entre los centros Conacyt. Fue sustituida por la Dirección de Vinculación en 1997.

• **1995.** Se desarrolló una superficie reflectora para un sistema de comunicaciones ópticas entre tierra y un avión, basada en estudios básicos sobre esparcimiento de luz en superficies rugosas. Eugenio Méndez. Surface Optics Corp.

• **2006.** Unidad comercial para cultivo intensivo de camarón. Manuel Acosta. Ayuntamiento de Puerto Peñasco, Sonora.

• **2007.** Se transfiere la tecnología desarrollada en el proyecto "Aislamiento y caracterización de nuevos fármacos contra *Mycobacterium tuberculosis*", de Alexei Licea. Laboratorios Silanes.

• **2008.** Se licencia tecnología de anticuerpos recombinantes de tiburón a Genway Biotech Inc.

• **2011.** Se establece la empresa Antibodies from CICESE, S.C., a incubarse en esta institución que también es participante.

– Se licencia a la empresa Unima Bioseguridad Integral los derechos de una prueba diagnóstico de tuberculosis bovina por hemoaglutinación. Alexei Licea.

• **2012.** Desarrollan bloque tecnológico para Plantronics de México, S.A. de C.V. que integra varios dispositivos de comunicación en unos auriculares con tecnología inalámbrica, y evaluación de desempeño de dispositivos Wi-Fi direct.

• **2014.** Se licencia a Advanced Technology Research, S.A. de C.V. el sistema de monitoreo Pelicano para habilitar enlaces de comunicación del sistema satelital MexSat.

• **2015.** Cinco Kioskos de la Salud, desarrollados con el sistema A-Prevenir® son licenciados a la Secretaría de Salud y Bienestar Social de Colima. Salvador Villarreal.

• **2017.** Licencian paquete tecnológico de proteínas del sistema inmunológico de tiburón a Unima Inc.

– Jorge Olmos, investigador del CICESE, crea ADN Test Laboratorios, S.A. de C.V. y se le transfiere el uso de una espina modificada genéticamente, como probiótico en alimento de camarón.

• **2018.** Alexei Licea Navarro crea Nova Proteins, S. A. de C.V., y se le transfiere biblioteca de genes de anticuerpos de tiburón.

• **2019.** Investigadores del CICESE fundan la empresa Bienestar Inteligente para Todos, S.R.L. de C.V., y obtienen los derechos del sistema A-Prevenir®. Así, licenciaron a Pfizer este desarrollo e integraron de manera conjunta el proyecto Por tu Corazón para medir la salud cardiovascular.

• **2020.** Primer licenciamiento con una empresa impulsada por egresados del CICESE, Ubimaker S.A. de C.V., por el sistema Guardián Covid.

– Se licencia el uso de los softwares Muwieri y Helpath, desarrollados en CICESE-UT³, a los Servicios de Salud de Tepic, Nayarit.

• **2021.** Paquete tecnológico de la plataforma A-Prevenir® se licencia a Bushido Smart Technology S.A.P.I.





Comunicar efectivamente ciencia no se ajusta a un único modelo, sino que debe concebirse más bien como un proceso fluido que es capaz de asumir distintas configuraciones, teniendo en cuenta que hay además una gran diversidad de modos, de promover la difusión, el diálogo o el *engagement*

José Antonio López-Cerezo



Comunicación pública de la ciencia

► Difusión, divulgación, comunicación pública de la ciencia

Norma Herrera*

Carolina Bohórquez Martínez sonríe siempre. Estudia el doctorado en Nanociencias que conjuntamente ofrecen el CICESE y la UNAM. Desde 2016, cuando llegó a Ensenada a cursar la maestría en Física de Materiales, se enroló como cuidadora en el Taller de Ciencia para Jóvenes y desde entonces suma cinco años de colaboración (de 2016 a 2019 y 2022) con investigadores, técnicos y otros estudiantes que durante una semana de verano interactúan en clases, prácticas, salidas a campo y el día a día con bachilleres unidos por su curiosidad o franco amor por la ciencia.

Desde niña, en Oaxaca, su ciudad natal, en Carolina se despertó la curiosidad y el gusto por aprender, compartir, participar en actividades de divulgación: talleres, clubes, olimpiadas del conocimiento, en las cuales –estas últimas– prevalece un ambiente de camaradería, sí, pero también de competencia. A diferencia de contiendas deliberativas, la mayoría de las actividades de comunicación pública de la ciencia del CICESE se caracterizan por acercar, motivar, favorecer experiencias y aprendizajes, en un ambiente lúdico, sin presión.

Esta faceta de Carolina representa parte de lo que este centro ha realizado y aspira a seguir contribuyendo en difusión, divulgación, comunicación pública de la ciencia. Si bien en México, el término divulgación de la ciencia es el más popular y mayoritariamente se ha realizado desde las instituciones, en los últimos años gana terreno el término comunicación pública de la ciencia entendida como “cualquier sistema susceptible de ser vehículo de comunicación científica para la gente común”, (Calvo, 2003).



La divulgación incluye muchos objetivos que se complementan y en los cuales ha trabajado el CICESE, entre otros: informar al público que nos sustenta, democratizar el conocimiento, insertar a la ciencia como parte de la cultura, compartir el placer de conocer, destacar la importancia de la ciencia, generar vocaciones, hacer alianzas con programas de enseñanza formal, favorecer el tejido de redes entre jóvenes con intereses comunes, contribuir a consolidar una cultura científica, sacar la ciencia de los laboratorios a la calle, buscar diálogo entre ciudadanos y mujeres y hombres dedicados a la ciencia.

Carolina creció viendo *Cosmos*; le maravillaba la forma de hablar de Carl Sagan, admiraba la claridad en su expresión, las explicaciones sencillas, casi poéticas. Cuando leyó *Un punto azul pálido* comprobó que la divulgación de la ciencia como literatura produce placer y emoción. Con estos referentes no fue difícil que Carolina estudiara física.

Más tarde Carolina encontró en Julieta Fierro otro modelo para comunicar ciencia. Como estudiante de Física, con un amigo inició el blog *Conciencia libre* que detonó en Oaxaca diversas actividades de divulgación, pero se toparon con el por qué muchas personas no hacen divulgación: hay que invertir mucho tiempo y hay quienes no están dispuestos a trabajar gratis. Así, se diluyen esfuerzos.

Carolina se reconoce privilegiada porque desde la familia encontró un acercamiento a un océano de conocimiento en libros y videos. “Tuve mucha suerte. Mi papá viene de una comunidad oaxaqueña extremadamente rural, fue alumno de la primera generación que cursó la primaria ahí; para ir a la secundaria caminaba 12 kilómetros. Su abuelo sembró la semilla del estudio que reforzó su papá y su mamá. Mi papá trabajaba en el Consejo Nacional de Fomento Educativo y gracias a eso tuve acceso a toda su biblioteca y videoteca”. Su participación en olimpiadas nacionales ofreció a Carolina viajes a otros estados, conocer a chicos con intereses similares, “con quienes sí encajaba muy bien” y, posteriormente, entrenar niños para olimpiadas del conocimiento y ahora participar en múltiples actividades de divulgación.

Comienzo y desarrollo

En los primeros años del CICESE, dos fueron las prioridades en la comunicación hacia el exterior: difundir los artículos científicos publicados por su comunidad en la icónica *Colección de Reimpresos* y en sus informes anuales, así como promover sus programas de posgrado para atraer estudiantes.

En los últimos seis años, La Noche de las Ciencias como una actividad que atrae a audiencias voluntarias –desde infantes hasta adultos mayores– es el mejor sello que ilustra la evolución de los esfuerzos por comunicar a la sociedad parte de las investigaciones y actividades que se realizan en éste, el centro de investigación público más grande y multidisciplinario del (en ese entonces) sistema Conacyt.





En pocas líneas, lo que ha hecho el CICESE hacia diversas audiencias para comunicar su hacer se resume en: publicaciones impresas y electrónicas; estancias de investigación científica; talleres para las infancias, jóvenes, maestros y periodistas; exposiciones y ciclos de conferencias en foros bajacalifornianos y nacionales; visitas guiadas a nuestro centro de investigación con énfasis de atención a grupos desde preescolares hasta universitarios; estancias de estudiantes en programas de verano de investigación; participar como jurado en concursos científicos y recibir a los ganadores en sus instalaciones; organizar la Escuela de Verano en Óptica y Optoelectrónica, la Olimpiada Estatal de Ciencias de la Tierra (en colaboración con la Unión Geofísica Mexicana), la Escuela de Otoño en Ciencias de la Computación, el programa Acércate al mar; ser parte de festivales –del Conocimiento, de la ballena, Semillas, por citar algunos– y La noche de las estrellas.

En las actividades han participado todas las áreas académicas del CICESE, el Departamento de Comunicación y el Programa Pelicano. Este último, en años recientes, sumó a su labor con escuelas, la impartición del Diplomado Estrategias Didácticas para la Transmisión de la Ciencia a la Sociedad, que ya suma tres ediciones con fondos públicos. También con dinero público se han financiado “El vaivén de la ciencia, de la exposición presencial al espacio digital” y “Ciencia en Movimiento”, gestionados por el Departamento de Comunicación, y recientemente el Laboratorio Marino virtual.



Las conferencias y exposiciones han sido mayoritariamente en espacios públicos –Centro Cultural Tijuana, museos Caracol, Sol del Niño, el Trompo, el Centro Cultural Riviera del Pacífico, el Centro Estatal de las Artes Ensenada–, en las principales ciudades de Baja California: Ensenada, Tijuana, Mexicali, Tecate, Rosarito, San Quintín. También en escuelas locales y en espacios como la Cámara de Diputados y el zócalo, en la Ciudad de México; La Paz, BCS; Balboa Park, al sur de California, participando en eventos de gran tradición, por citar algunos: Expoambiente, Expomar, *Baja Sea Food*, Fiesta Viva, Día GIS, ferias de ciencia, Semana Nacional de Ciencia y Tecnología, Ensenada de Todos Suma de Culturas, y celebraciones de días internacionales: de la Tierra, del Medio Ambiente, de los Océanos, de la Marina, del Agua.

Particularmente en los últimos veinte años se ha intensificado y sistematizado el trabajo con medios de comunicación impresos, audiovisuales y digitales, regionales y nacionales; por temporadas, ha habido participaciones presenciales en estaciones de radio y televisión; se ha incursionado en redes sociales conforme éstas emergen en la escena de tendencias para entrar al diálogo de los usuarios interesados en la ciencia y sus aportes.

Todo esto para contribuir al cumplimiento de uno de los objetivos estratégicos que el CICESE ha planteado en sus planes de desarrollo institucional, y que se expresan en las siguientes frases clave: elevar la visibilidad institucional ante la sociedad, proyectar la pertinencia e impacto académico y social de nuestras labores, fortalecer las actividades de difusión y divulgación del conocimiento científico para incrementar su impacto en beneficio de la población, principalmente entre la infancia y la juventud.

Un aspecto relevante en el ejercicio de comunicar ciencia públicamente es la alianza que el CICESE ha logrado con la UNAM y la UABC, así como museos y, desde su creación, con el Centro Estatal de las Artes Ensenada. Nuestro centro y ambas universidades, en este diálogo con la sociedad, han contribuido a cumplir el sueño de Nicolás Grijalva y Ortiz: “Vamos a hacer de Ensenada una ciudad universitaria”.

El presente devela los retos del futuro

En 2022, Carolina Bohórquez participó en el programa *Mentoras en la Ciencia-Mentees*, impulsado por el *British Council*, cuyo objetivo se resume en disminuir el rezago del papel de la mujer en la ciencia. Su experiencia como mentoreada (*mentee*) renovó en ella el compromiso por retomar el blog de divulgación y confirmaron su interés e involucramiento en cuestiones de género. “No estaba involucrada, pero cuando una de mis mejores amigas dejó el posgrado por cuestiones de acoso, la problemática me hizo *click*. Me sentí incompetente para poder apoyarla, hubo consecuencias en su autoestima y vida académica. Entonces me interesé, me acerqué e involucré en los temas de género”.

Más allá de los estigmas por vencer, Carolina se centra en lo que cree e inspira: “Tengo sobrinitos que quieren ser científicos; soy un referente, genero inspiración, soy la tía Caro que hace ciencia”. Ella disfruta mostrar a niños y jóvenes que se puede hacer ciencia y seguir disfrutando de otros gustos. “No soy un bicho raro”.



Contenta de estar en el CICESE, recuerda la primera vez que estuvo en Ensenada participando en un taller de física de nanoestructuras que ofrecía el CNYN. Se enteró de este por la red de amigos a la que se fue integrando en su paso por talleres, olimpiadas, escuelas. También fue la primera vez que Carolina viajó en avión, que estuvo lejos de Oaxaca.

Tanto allá como aquí, Carolina ha comprobado lo que también el CICESE ha experimentado en las actividades de comunicación pública: la gente es receptiva, participativa, está abierta a la escucha y al asombro... Pero si la gente no puede venir a los lugares a los que convocamos, hay que llevar las actividades a sus espacios, tal como sucede con exposiciones y charlas a escuelas o sitios públicos, y proyectos como Ciencia en Movimiento y La Noche de las Ciencias 2022 que cambió de casa abierta en las instalaciones del CICESE, UABC, UNAM a una mega exposición en el centro de Ensenada.

En Ensenada, hace falta generar actividades que salgan del clásico circuito donde frecuentemente nos reencontramos los mismos, ir más allá de las instalaciones del CICESE, UABC, UNAM, Cearte, Riviera, museo Caracol. Hace falta generar nuevas audiencias, ofrecer actividades en lugares más populares y establecer un diálogo para empatar intereses y aportar a solucionar problemas locales.

La reciente pandemia por covid-19 dejó entrever una avalancha desinformativa donde faltó contundencia a la voz de los científicos y divulgadores. Hace falta llegar a otros espacios, captar nuevas mentes, aprovechando la credibilidad, el respeto que inspiran la figura de científicas, académicos y las instituciones de educación superior. ¿Hasta qué punto la pseudociencia y movimientos como el antivacunas, el creacionismo y el terraplanismo, por citar algunos, son fallos de instituciones y personas dedicadas a la ciencia por no difundir información correcta y de manera sencilla a nivel masivo?

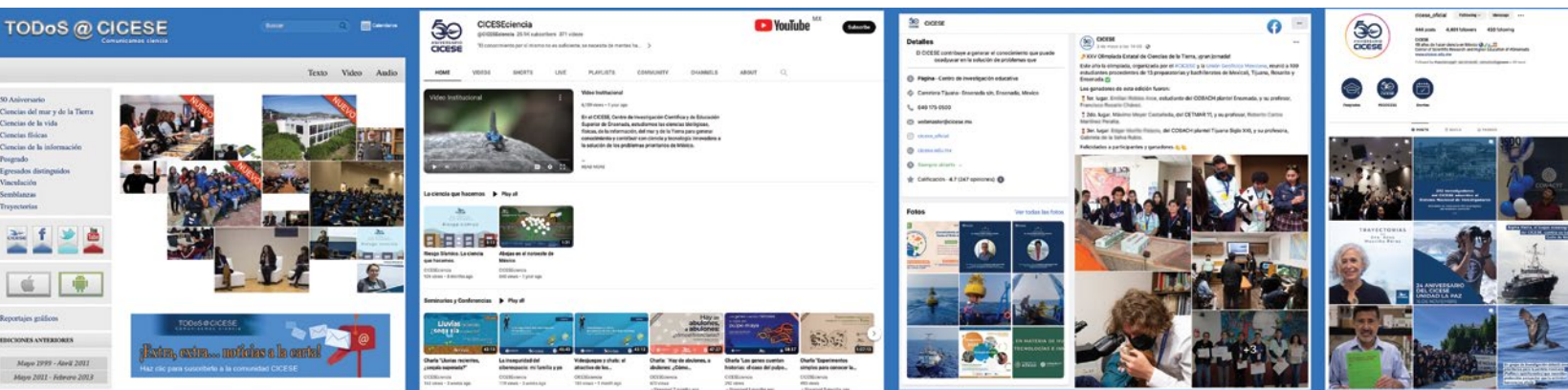
A partir de la nueva administración del Conahcyt, se han implementado estrategias para promover el acceso universal al conocimiento de las humanidades, las ciencias, las tecnologías y la innovación, bajo los principios de la no discriminación y la equidad social y de género. Ello ha derivado en la obligatoriedad de productos o actividades de divulgación en proyectos financiados y becas otorgadas por el Consejo. Una acción plausible, pero ¿deben los investigadores transmutar su tarea hacia la divulgación en aras de cumplir el mandato? o ¿este mandato paralelamente debería impulsar la profesionalización de comunicadores de la ciencia que aporten sus saberes a tan necesarias producciones?

Baste saber que, de acuerdo con datos de la red internacional sobre comunicación pública de la ciencia y la tecnología (PCST, por sus siglas en inglés) hay más de 100 opciones de profesionalización. En el CICESE se han dado primeros pasos por aproximarse a la capacitación en comunicar ciencia a través de cursos cortos, talleres y seminarios.

Como Carolina, muchos jóvenes han sido marcados por productos y actividades de comunicación pública de la ciencia. Ella admira la entrega de los investigadores del Taller de Ciencia para Jóvenes, durante el cual algunos se vuelven choferes o cocineros sin detrimento de sus grados o nivel en el Sistema Nacional de Investigadores. Las actividades de divulgación son una manera muy efectiva de abrir no solo la mente sino el corazón de las personas. En mi caso, dice Carolina, participo como una forma de retribuir algo de lo mucho que he recibido.

Y sí, también en el CICESE las actividades de divulgación marcan a los participantes. Ojalá que cuando se edite el próximo libro conmemorativo de aniversario del CICESE, la comunicación pública de la ciencia sume más y también se incluya un capítulo que nos cuente de los avances institucionales en equidad de género. ¿En qué año el CICESE tendrá una directora general?, ¿cuándo existirá un área que, con presupuesto específico, integre los esfuerzos en divulgación? Ésta podría coordinar integralmente las actividades de comunicación de la ciencia que se han ido gestando y, con una visión institucional y responsabilidad social, contribuir a una mejor comprensión y valoración pública de la ciencia para fomentar vocaciones y promover una visión crítica de la ciencia (los qué, cómo, por qué, para qué) que permita a toda la ciudadanía tomar decisiones informadas.

*Integrante del Departamento de Comunicación.



3

CAPÍTULO

El CICESE
se expande



La Paz, Monterrey y Tepic

► Unidad La Paz: primera extensión foránea

Emilio Beier, Armando Trasviña, Romeo Saldívar y Cecilia Soldatini*

La idea y los primeros pasos para crear una extensión del CICESE en La Paz, Baja California Sur (BCS) se remontan a 1994, cuando el doctor Mario Martínez García se desempeñó como director general. Colaboraron con entusiasmo Francisco Suárez Vidal (†), director administrativo, y Elena Enríquez Silva, entonces, secretaria ejecutiva del director general.

El doctor Luis Munguía Orozco, investigador del Departamento de Sismología, proporcionó personal, equipo y externó un gran interés por establecer esta unidad foránea, ya que desde 1989 estudiaba la sismicidad de la zona. Amelia Chávez Comparán, quien fungía como jefa de la biblioteca, también brindó apoyo constante. Muchos compañeros del campus Ensenada aportaron sus ideas y contribuciones hasta que el 16 de noviembre de 1998, el gobernador de BCS, Guillermo Mercado Romero, donó el inmueble de la colonia Bella Vista. Así nació la Unidad La Paz (ULP) del CICESE.

Los primeros pasos de la ULP estuvieron acompañados por el desarrollo de los estudios de sismología en el estado, a partir de una amplia colaboración de investigadores y técnicos, como el mismo Luis Munguía y Sergio Mayer Geraldo (†). Entonces, este servicio era inexistente en BCS.

Posteriormente se incorporó el estudio de los mares tropicales frente a México, a cargo del investigador Armando Trasviña Castro. Empezó a medirse el nivel del mar y las lagunas costeras a partir del trabajo de Modesto Ortiz Figueroa y Guillermo Gutiérrez de Velasco; en 2001 iniciaron los estudios de ecología costera por Eduardo Palacios Castro; de meteorología regional por Luis Manuel Farfán Molina, en 2002, y de sismología en 2003 a partir del trabajo de Mario González Escobar y Roberto Ortega Ruiz.



Así, la ULP se convirtió en la primera unidad foránea del CICESE y en una experiencia nueva para la institución, la cual dio paso a la creación de nuevas sedes.

El crecimiento de la unidad se percibió lento los primeros años. En 2007 se institucionalizó y la administración de Ensenada tomó el control y las auditorías correspondientes. Se incluyó a la unidad dentro del organigrama del CICESE como uno más de sus departamentos, dependientes de la Dirección General; esto con la invaluable ayuda de Federico Graef Ziehl, director general durante ese periodo.



Entre 2007 y 2012 se estableció la primera versión de lo que ahora son los *Lineamientos para las Unidades Foráneas* (firmados el 13 de marzo de 2018) y, derivado de ello, se recibió apoyo para mejorar la infraestructura, renovar los vehículos para el trabajo de campo y tener el servicio de videoconferencias. Este último se estableció con el apoyo del Departamento de Redes de la Dirección de Telemática que, además de ser utilizado por el personal de la ULP, apoyó a otras instituciones de investigación y enseñanza como el Cicimar y la UABCS.

A partir de 2013 ha ocurrido una integración plena al CICESE, con un presupuesto de acuerdo a su productividad académica, con la participación de sus investigadores en los cuerpos colegiados y directivos de la institución, así como su progresiva incorporación a los núcleos académicos de los posgrados.

El apoyo de Guido Marinone y David Covarrubias, durante sus respectivos periodos como directores generales del CICESE, han sido invaluable para el desarrollo de esta etapa.

Crecimiento y prospectiva de seis grupos de investigación

La actividad académica se ha enfocado a los riesgos y peligros naturales, con líneas de investigación únicas en Baja California Sur. Actualmente la ULP se compone de seis grupos de investigación: Aeroecología Marina, Sismohidrología, Sensores Remotos y Vehículos Autónomos no Tripulados, Macroecología Marina, Biología de la Conservación y Meteorología Tropical.

El crecimiento de la infraestructura de la unidad durante los últimos 10 años influyó para que se duplicara el número de investigadores, formando así un cuerpo académico consolidado con inserción en todos los niveles del Sistema Nacional de Investigadores.

Además, la ULP cuenta con investigadores de posdoctorado y estudiantes de maestría y doctorado, quienes le dan vida a un objetivo fundamental de la institución: la formación de recursos humanos de calidad internacional.

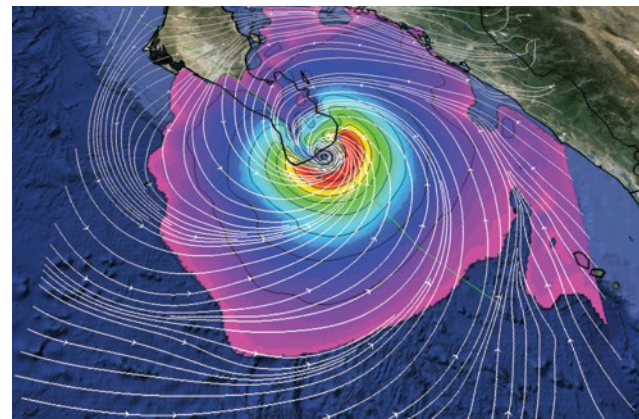
Destaca la incorporación de investigadores por convenio, quienes desarrollan temas de investigación con gran incidencia. Esta unidad fue pionera en esta modalidad que ha permitido apoyar a jóvenes investigadores.

La vinculación de la ULP con la comunidad de Baja California Sur es amplia y crece constantemente. Destacan las colaboraciones productivas con el Consejo Sudcaliforniano de Ciencia y Tecnología, así como con Protección Civil de La Paz y Los Cabos, especialmente en cada temporada activa de ciclones tropicales, o en caso de movimientos sísmicos.

Desde el punto de vista académico, la ULP trabaja regularmente con otros centros de investigación, como el Cibnor y el Cicimar; instituciones académicas como la UABCS y el Instituto Tecnológico de La Paz; organizaciones no gubernamentales, y sin dejar de lado a las entidades científicas nacionales y extranjeras.

Los temas de investigación y de servicio a la comunidad que se desarrollan en la ULP tienen una raíz común en el análisis de los riesgos y de los peligros naturales. En cuanto al análisis de riesgos, destacan dos: el desarrollo del Atlas de Riesgo municipal y el análisis de impactos entre aves y aviones en los aeropuertos mexicanos.

A su vez, se analizan los efectos del cambio climático y de las respuestas conductuales de fauna en sus rutas migratorias, específicamente de vertebrados marinos con relevancia de conservación para el país, los cuales se distribuyen en el Océano Pacífico frente a México, incluyendo islas y costas. Estos son indicadores muy eficientes del estado de salud del mar; las variaciones en su distribución y comportamiento nos hablan de las consecuencias de la variabilidad climática, anticipando aquellos que pueden reflejarse, como la reducción de recursos pesqueros, por ejemplo.



De manera directa y tangible, en términos de servicios a la comunidad y a las empresas locales, se analizan los eventos atmosféricos con potencial catastrófico, como los huracanes y las ondas de calor.



Los resultados de este monitoreo se mantienen actualizados en el portal Monitoreo de Condiciones Meteorológicas en Baja California Sur, en el cual también se pueden consultar diariamente los pronósticos climáticos de los mares mexicanos elaborados en el Laboratorio Servant (Sensores Remotos y Vehículos Autónomos no Tripulados).

Además, el cuerpo académico apoya constantemente a la investigación geofísica, oceanográfica y ecológica de empresas activas en el territorio de BCS involucradas en grandes obras de construcción o exploración minera. La ULP monitorea el estado y la disponibilidad de los recursos minero e hídrico en el subsuelo con el objetivo de respetar un manejo sustentable.

Las perspectivas a futuro de la ULP son de crecimiento, con todas las intenciones de mejorar y ampliar la infraestructura para ofrecer mayores y mejores espacios a los investigadores y los estudiantes. Recientemente, se empezó a potenciar la divulgación de los resultados de la investigación desarrollada en la ULP hacia distintos niveles escolares con actividades de "puertas abiertas" y el uso de redes sociales para compartir información detallada sobre la producción científica.

La ULP tendrá mayor visibilidad en la sociedad sudcaliforniana al fortalecer sus líneas de investigación sobre riesgos y peligros naturales debido al impacto que tienen en la región y la extensión que mantiene con los sectores públicos y privados, asociaciones civiles, gremios académicos y la sociedad civil.

Con relatorías, documentación técnica, análisis de impacto y un continuo monitoreo de los fenómenos naturales que producen desastres en esta región del país, seguramente la ULP logrará una mayor presencia en el estado. Este 2023 se festeja orgullosamente el 50 aniversario del CICESE y el 25 aniversario de esta unidad.

*Investigadora e investigadores del CICESE Unidad La Paz. La Dra. Soldatini es coordinadora de la unidad.

► Unidad Monterrey: la ventana noreste del CICESE

Gabriel Alejandro Galaviz Mosqueda y Víctor Manuel Coello Cárdenas*

Este ejercicio de análisis y memoria se registra como una ventana que, en el futuro, se espera que muestre el potencial de la Unidad Foránea Monterrey (UFM) del CICESE en el noreste de México.

La historia del CICESE en Monterrey inició en el año 2000, cuando se establecieron las bases de su creación bajo la coordinación del doctor Ricardo Villagómez Tamez. En agosto de 2001, la UFM se instaló en la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Posteriormente, de 2008 a 2012, la UFM se albergó en el Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial.

En 2012 concluyó la primera etapa del edificio en el que actualmente se encuentra la UFM, dentro del Parque de Investigación e Innovación Tecnológica (PIIT), un parque de cuarta generación basado en el modelo de la triple hélice. A partir de ese momento, la UFM experimenta una evolución notable.

El doctor Guido Marinone, quien fungió como director general del CICESE de 2015 a 2020, dio un paso importante para acercar más a la UFM hacia la integración de los procesos institucionales con la creación de los *Lineamientos de Operación para las Unidades Foráneas*. Como consecuencia, la UFM quedó bajo la responsabilidad directa de la Dirección General. Después de un análisis de viabilidad de la unidad, Guido Marinone nombró al doctor Víctor Manuel Coello Cárdenas como coordinador. Esta etapa de la UFM inició en colaboración con la División de Física Aplicada, cuyo director, el doctor Eugenio Rafael Méndez Méndez, brindó un apoyo institucional crucial.

En 2018 se creó el Consejo Interno de Unidades Foráneas, lo que impulsó aún más la institucionalización de la operación y planeación de la UFM y sus actividades académicas de vinculación y formación de recursos humanos. Así, la unidad definió su visión de convertirse en un referente nacional e internacional en el noreste de México.

Para lograrlo, se establecieron tres áreas académicas: nanoóptica, optomecatrónica y redes y aplicaciones inteligentes dirigidas a dispositivos médicos y sistemas de e-Salud.

Las áreas de nanoóptica y optomecatrónica agrupan las líneas que se habían cultivado en la UFM hasta 2016, mientras que el área de dispositivos médicos conectados y sistemas de e-Salud se sumaron con el apoyo brindado por investigadores de los departamentos de Óptica y Electrónica y Telecomunicaciones.

Además, a través del apoyo que otorgó el Conacyt para el Consorcio de Óptica Aplicada se construyó la segunda etapa del edificio de la UFM en 2018.



Investigación, docencia, vinculación: creciendo y fortaleciéndose

A partir de 2016 la planta académica creció significativamente a través del programa Cátedras Conacyt (actualmente denominado Investigadoras e Investigadores por México), lo que permitió una mayor visibilidad e integración tanto con el ecosistema regional, como con el CICESE campus Ensenada.

De cinco investigadores en 2016, aumentó a 12 en 2019. No obstante, esta dinámica provocó algunos retos significativos para la UFM, especialmente con la movilidad laboral de su personal académico. A pesar de esto, los beneficios han resultado muy positivos para la institución.

El 2019 fue considerado como un momento adecuado para desplegar un nuevo posgrado institucional, el primero fuera del campus Ensenada. Este hito nació de una visión clara, definida por una estructura clave: nueva infraestructura, una planta académica joven apoyada por académicos de experiencia, y el apoyo institucional de la Dirección General, a cargo de Guido Marinone, y de la Dirección de Estudios de Posgrado, encabezada por Rufina Hernández Martínez.

A este proyecto se sumó el CICESE-UT³, y se designó como líder de la iniciativa al doctor Gabriel Alejandro Galaviz Mosqueda. Allí inició un camino de muchos retos, incluyendo la pandemia de covid-19 y el inusitado confinamiento mundial. En los primeros meses de 2020, en una carrera inesperada contra el inicio del confinamiento en México, la planta académica involucrada generó un proyecto de maestría innovador y multidisciplinario, el cual fue analizado por los cuerpos colegiados del CICESE antes del confinamiento. Después de un análisis profundo en la Junta de Gobierno en la sesión del 13 de julio de 2020, el máximo órgano colegiado del CICESE aprobó por unanimidad de votos la creación de la Maestría en Ciencias en Tecnologías Avanzadas e Integradas (MCTAI), con dos líneas en la UFM y una en el CICESE-UT³.

La primera generación de la MCTAI comenzó el 30 de agosto de 2021, y gracias al trabajo colegiado e institucional se logró el ingreso inmediato al Padrón Nacional de Posgrados de Calidad del Conacyt. Esto permitió que los estudiantes obtuvieran una beca de manutención.



En 2021 finalizó el periodo de Víctor Coello como coordinador. Así, el doctor David H. Covarrubias Rosales designó a Gabriel Alejandro Galaviz Mosqueda como el siguiente coordinador. Galaviz tomó la estafeta para reforzar la visión de que la UFM fuese un referente en las actividades sustantivas del CICESE, tanto nacionales como internacionales. A partir de la llegada de Covarrubias a la dirección general, las unidades foráneas se han acercado aún más a los procesos institucionales. Para la UFM esto ha significado mejorar la identidad institucional y la estructura administrativa que permite que las actividades sustantivas se vean apoyadas.

En 2023 la pertinencia de la UFM del CICESE es clara. Se tienen vinculaciones valiosas con instituciones educativas regionales como la UANL, el Instituto Tecnológico de Estudios Superior de Monterrey y la Universidad de Monterrey; nacionales, como el Ciatej Cimat, Cimav y Cinvestav, así como con instituciones internacionales como la Universidad de Tecnología de Troyes, el Instituto de Física y Tecnología de Moscú y la Universidad del Sur de Dinamarca.

Además, a través del Instituto de Innovación y Transferencia de Tecnología de Nuevo León, la integración del CICESE con el ecosistema de innovación y desarrollo tecnológico, así como con los clusters de los sectores prioritarios para Nuevo León, ha crecido de manera considerable.

Actualmente la UFM cuenta con una base de infraestructura científica que ha permitido el desarrollo de las actividades académicas y la vinculación con otras entidades públicas y privadas.

El campo de la nanoóptica está bien consolidado, con un extenso registro de publicaciones que abarca los últimos 23 años, así como con una importante red de colaboradores. La aplicación de la investigación abarca la mayor parte del espectro de interés para las áreas de salud y materiales avanzados. Además, se tiene una amplia variedad de dispositivos del Internet de las Cosas y servidores para trabajo de simulación numérica.

En cuanto a la formación de recursos humanos, la segunda generación de la MCTAI está por iniciar la etapa de tesis y en septiembre de 2023 egresará la primera generación de esta maestría.

Aún se tienen diversos retos en la UFM, como incorporar personal técnico que apoye las actividades académicas y de extensión; incrementar las actividades de vinculación para sistematizar que el desarrollo tecnológico de la Unidad se transfiera a las diferentes industrias; fortalecer la infraestructura científica y operativa de los laboratorios; y, muy importante, consolidar a la planta académica y la MCTAI como una base fundamental para el grado académico de doctorado.

Sin duda, la UFM tiene diversos elementos a favor: su ubicación en un ecosistema científico y tecnológico consolidado y que crece a pasos acelerados en Nuevo León; un posgrado de reciente creación que empieza a mostrar su potencial en la región noreste y occidente del país; y una planta académica en la que concurren investigadores consolidados y jóvenes con una gran iniciativa y compromiso. Sumado al apoyo institucional, estos elementos posicionan a la UFM como una parte esencial del CICESE.

Al considerar los desafíos y las fortalezas existentes, se vislumbra un futuro prometedor para el CICESE desde la región noreste de México. Sin embargo, es importante tener en cuenta que, para alcanzar las expectativas establecidas, se necesitará un esfuerzo continuo, tiempo y apoyo institucional constante.

Se espera que cuando corresponda analizar lo logrado en la siguiente década, esta ventana evidencie y dimensione el camino recorrido que ha derivado de grandes esfuerzos institucionales y, por supuesto, sea una motivación para seguir fortaleciendo al CICESE, con la certeza de que los objetivos se consiguen paso a paso.

*Investigadores del CICESE Unidad Monterrey. El Dr. Galaviz es coordinador de la unidad.

► CICESE-UT³: tecnología para resolver problemas sociales

Juan Martínez Miranda*

La historia de la Unidad de Transferencia Tecnológica Tepic del CICESE (CICESE-UT³) es de innovación y compromiso por impulsar la ciencia.

Esta es la tercera unidad del CICESE y su historia inició en 2010, cuando el gobierno del estado de Nayarit definió el proyecto Ciudad del Conocimiento, con el objetivo de impulsar la innovación y el desarrollo tecnológico en el estado a través de la atracción de centros de investigación.

En 2013 comenzó la construcción y el equipamiento básico de la unidad gracias a la inversión de 15 millones de pesos otorgada por el fondo mixto Conacyt-Nayarit.

Los doctores Josefina Rodríguez Jacobo y José Alberto Fernández Zepeda tuvieron la visión de crear una unidad del CICESE que no sólo generara conocimiento, sino que sus resultados contribuyeran a resolver problemas relevantes de los sectores prioritarios estatales, regionales y nacionales.

Esto concibió una unidad con un fuerte componente de desarrollo e innovación tecnológica, cuyos productos son susceptibles de ser transferidos al sector público y privado.

En 2014, la unidad inició operaciones y se inauguró oficialmente en febrero de 2015. La primera coordinadora de la unidad fue la misma Josefina Rodríguez, quien además se dio a la tarea de establecer relaciones con los actores de instituciones tanto públicas como privadas para dar a conocer las capacidades y conocimientos de la unidad. Así iniciaron las colaboraciones regionales en Nayarit para aportar soluciones a problemas relevantes.

En esta etapa inicial, se incorporó el primer investigador, el doctor Ismael Espinosa Curiel, especialista del área de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC). Posteriormente, y gracias al programa Cátedras Conacyt (actualmente denominado Investigadoras e Investigadores por México), llegaron a la unidad tres investigadores más de esta área. También se integraron cuatro profesionales de apoyo a las áreas de administración, innovación y redes y sistemas.

Incidencia en sectores prioritarios: agroindustria, turismo, salud

Los primeros años fueron un gran reto para aprovechar y potenciar las diferentes capacidades y experiencias de los investigadores y técnicos, y guiarlas hacia la generación de conocimiento y el desarrollo tecnológico capaces de tener una incidencia a corto plazo en sectores prioritarios como la agroindustria, el turismo y la salud.

Al respecto, Josefina recuerda que “un reto importante era encaminar la unidad hacia la generación de recursos y tener un equipo de trabajo basado en el bienestar de las personas”.

Durante su gestión (2014-2017), se establecieron los contactos con las instituciones de educación superior del estado para formalizar convenios de colaboración que permitieron a CICESE-UT³ recibir a los primeros estudiantes de nivel licenciatura para que pudieran realizar servicio social y prácticas profesionales.



Gracias a esto, se ha contado con la participación continua de estudiantes de diferentes instituciones y carreras (principalmente relacionadas a las TIC). Por un lado, esto les ha permitido consolidar sus conocimientos y adquirir experiencia en el campo de la investigación científica y, por otro, han contribuido al desarrollo de los proyectos que se llevan a cabo en la unidad.

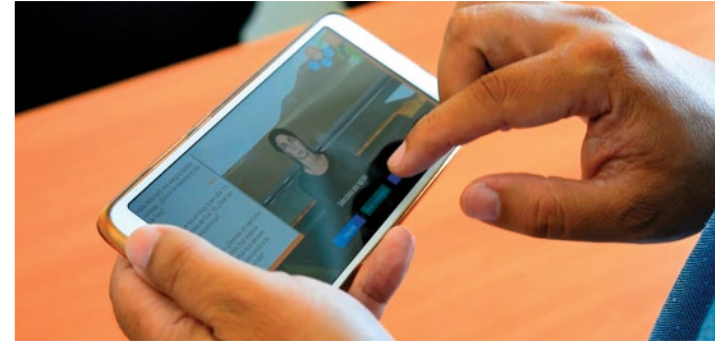


A partir de 2017, Ismael Espinosa Curiel asumió la coordinación de la unidad con el objetivo de consolidar el grupo de investigación, así como las diferentes áreas de apoyo (administración, innovación y comunicación). Aunque al inicio de las operaciones de la unidad se consideró incluir otras líneas de investigación, como la sismología y la acuicultura, fue durante este periodo (2017-2023) que se definió y comenzó a consolidar la línea de investigación en sistemas interactivos e inteligentes.

Bajo el paraguas de esta línea principal, se comenzaron a desarrollar proyectos de investigación financiados principalmente por el Conacyt, entre los que se encuentran una plataforma de videojuegos serios para fomentar la alimentación saludable en niños; el desarrollo de métodos computacionales y aplicaciones para el análisis y diagnóstico del comportamiento de perros de búsqueda y asistencia; el desarrollo de una plataforma computacional para la prevención, detección, seguimiento, y vigilancia epidemiológica de conductas suicidas, así como de problemas de salud mental y adicciones; y el desarrollo de algoritmos de aprendizaje aplicados a los mercados energéticos.

Además de publicaciones científicas, la mayoría de los productos generados por estos proyectos han obtenido derechos de autor, una patente y dos desarrollos tecnológicos que se han transferido, mediante contrato de licenciamiento, al sector salud del estado de Nayarit.

Durante este periodo de fortalecimiento de la unidad, Ismael Espinosa agrega: "los mayores retos eran incrementar y fortalecer la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación; aumentar el impacto regional de la unidad, e iniciar la formación de recursos humanos de posgrado".



Bajo su coordinación se consolidó el equipamiento de la unidad a través del Innovatic - Lab, un proyecto que fue financiado por el fondo mixto Conacyt - Nayarit, mediante el cual se adquirió equipo especializado para facilitar el desarrollo de productos, servicios y emprendimientos basados en las TIC.



Asimismo, a la planta de investigadores de base se integraron los doctores Juan Martínez Miranda y Humberto Pérez Espinosa como investigadores titulares, quienes ingresaron a la unidad desde 2014 como Cátedras Conacyt.

Las actividades de innovación y emprendimiento también fueron fundamentales en este periodo. Muestra de ello fue la elaboración del diseño conceptual y operativo de un ecosistema de innovación y emprendimiento para el desarrollo de soluciones basadas en las TIC, bajo el liderazgo de los investigadores del CICESE-UT³ en colaboración con personal clave de otras instituciones académicas, gubernamentales y cámaras empresariales. El resultado fue transferido al Consejo de Ciencia y Tecnología de Nayarit para su puesta en marcha.

Algo muy relevante para la formación de recursos humanos es la creación del programa de posgrado Maestría en Ciencias en Tecnologías Avanzadas y Aplicadas (MCTAI) que se imparte en colaboración con la Unidad Monterrey del CICESE. Desde su creación, este programa se encuentra reconocido en el Sistema Nacional de Posgrados del Conacyt, y la primera generación comenzó en 2021.

En febrero de 2023, Juan Martínez asumió la responsabilidad como coordinador de la unidad. Los retos actuales y futuros de la unidad son varios: en términos académicos, se espera que la productividad de la principal línea de investigación continúe en los próximos años; que el desarrollo de productos y servicios se incremente para realizar un mayor número de transferencias tecnológicas, así como aumentar el impulso de vinculación con las instituciones públicas y privadas de la región.

Otro reto es fortalecer el programa de posgrado para atraer a un número mayor de estudiantes e incrementar las actividades de difusión y divulgación para dar a conocer a la sociedad el beneficio de las investigaciones y los desarrollos tecnológicos realizados en CICESE-UT³.

En ocho años de trabajo, se han publicado más de 150 artículos de investigación y divulgación, se gestionaron 18 millones de pesos para proyectos, se obtuvieron 20 derechos de autor y una patente. Además, se ejecutaron siete proyectos de investigación financiados y se consolidaron diez desarrollos tecnológicos dispuestos a pasar al proceso de comercialización o transferencia.

Es importante mencionar el papel que ha tenido la unidad en la formación de más de 200 estudiantes de nivel medio, superior y posgrado, quienes han realizado estancias, prácticas profesionales y servicio social.

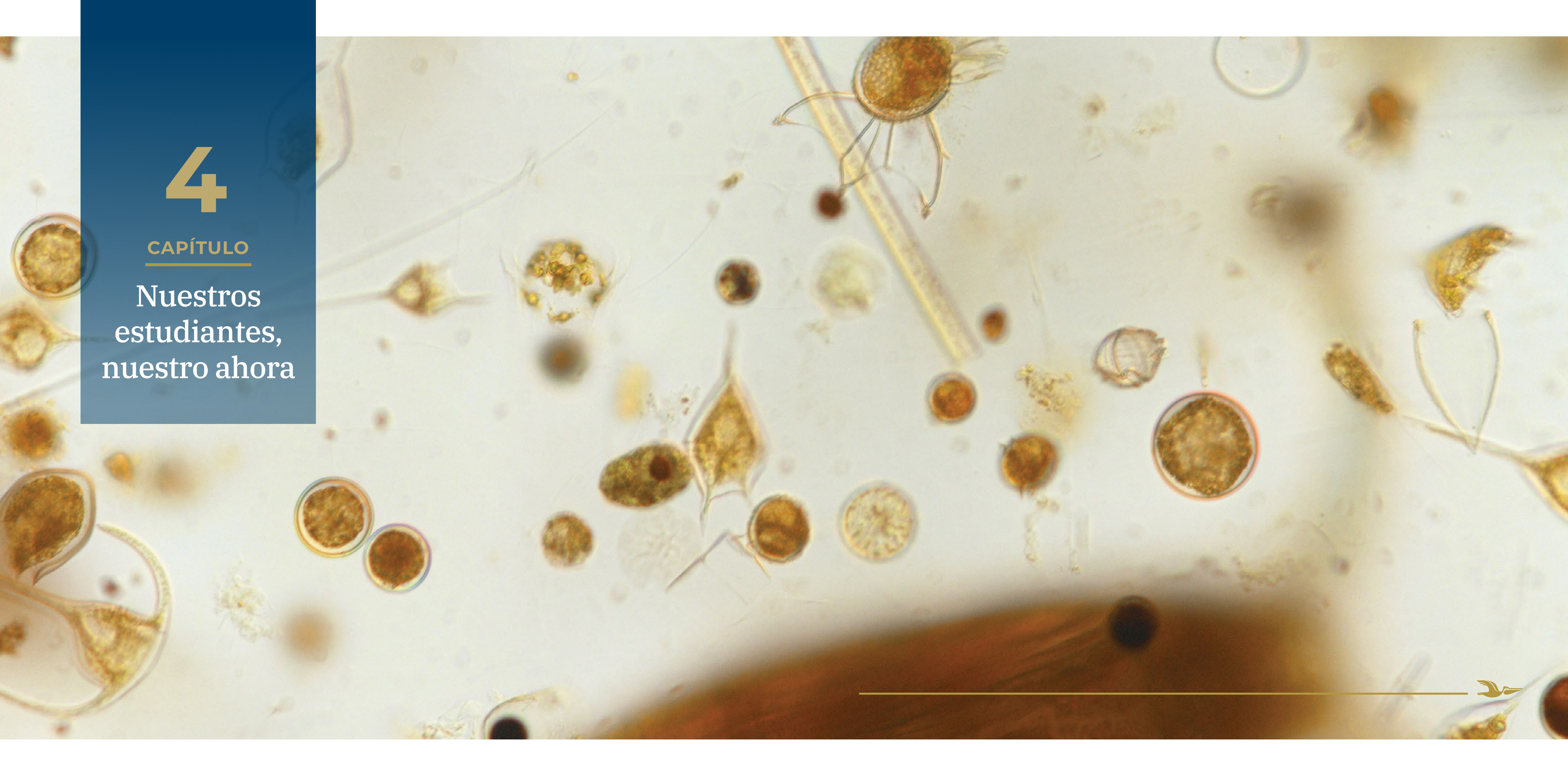
*El Dr. Juan Martínez es coordinador de la unidad.



4

CAPÍTULO

Nuestros
estudiantes,
nuestro ahora



El CICESE desde la óptica de los egresados y estudiantes

► Nuestros estudiantes, nuestro ahora

Jazmín Félix y Karla Navarro*

Viajaron en autobús desde el entonces Distrito Federal hasta Tijuana. Era el 31 de agosto de 1972, todavía faltaba un año para que se decretara la creación del CICESE y ellos, maletas en mano, ya estaban arribando a Ensenada.

El autobús dejó a los jóvenes Luis Munguía y Cecilio Rebollar (†) en la calle Gastélum, a tres cuadas de donde antaño se ubicaba el CICESE. Llegaban de la gran metrópoli a Ensenada, la ciudad y puerto en incipiente etapa de desarrollo que daba cobijo a la gestación del centro de investigación al que ambos llegaban a incorporarse.

El contraste urbano fue drástico, pero no paraba ahí: egresados del Politécnico, la segunda institución académica más grande del país, caminaron con la vista puesta en su posgrado, en su nueva institución, hasta llegar frente a unos cuantos locales comerciales. Eso era todo el CICESE.

“Entonces ¡oh, sorpresa!, nos desanimamos, pero ya estábamos acá. Bueno, estaba empezando, le apostamos y afortunadamente mira ahora lo que es el CICESE”, compartió el Dr. Luis Munguía Orozco, investigador del Departamento de Sismología del CICESE desde 1983.

Al igual que ellos, ocho estudiantes más vivieron una experiencia similar y se enfrentaron a todas las vicisitudes que implica apostar con optimismo a una institución científica en nacimiento.

Otro grupo de más o menos 10 estudiantes, egresados de la UABC, se sumaron también. Con ellas y ellos dieron inicio las clases de los primeros programas de posgrado del CICESE el 4 de septiembre de 1972.



► Luis Munguía, uno de los primeros estudiantes del CICESE.

“Las clases –recuerda Munguía– nos las dieron profesores de la UNAM que podían venir por periodos cortos a darnos los cursos intensivos, entonces tomamos cursos de diferentes tipos, que dependían de quien estaba libre para venir a Ensenada a enseñar. También profesores de Scripps vinieron a darnos cursos y seminarios”.

Ese 1972 ahora se antoja lejano, pero desde entonces estudiantes de todo el país y el extranjero han seguido nutriendo y ampliando los programas de posgrado y aportando a la investigación científica que se desarrolla desde el CICESE.



El ahora del CICESE

Durante 50 años, ¿qué ha sido lo que atrae estudiantes a este centro de investigación? ¿Cuál es su experiencia al incorporarse a las maestrías y los doctorados?

Todos coinciden: el CICESE es una institución de alto nivel. Conocieron el centro por voz de investigadores, amigos o conocidos, y decidieron sumarse. El resultado fue hallar una institución que les dio la bienvenida. Hoy están a mitad del posgrado o por concluirlo, y aunque sus historias son distintas, cada uno integra una sola: los 50 años de esta institución lo construyen los recuerdos, pero el ahora lo conforman los estudiantes que recorren los edificios.

Es el caso de tres alumnas y un alumno que compartieron sus experiencias en el CICESE. María Fernanda González Amador, estudiante del doctorado en Oceanografía Física, destacó que lo que más le gusta del CICESE es que incentiva las actividades más allá de lo académico. Ella disfruta formar parte del grupo de oratoria, por ejemplo, del colectivo de género y hacer divulgación científica a través del grupo de comunicación y redes del Departamento de Oceanografía Física.

El hecho de que el centro ofrezca el servicio de guardería también lo consideró importante, pues toma en cuenta los deseos personales de quienes integran la institución, en caso de que ser madre o padre esté dentro del proyecto de vida.

En el aspecto académico, mencionó que el CICESE tiene la virtud de que el estudiantado puede tomar materias de otros posgrados. Los seminarios impartidos por investigadores internacionales y la oportunidad de conocer a estudiantes de otros países, son otras de las ofertas del centro, aunque señaló que la merma en los apoyos ha perjudicado la movilidad del alumnado.

La calidad de las clases y la libertad para ejecutar su investigación, son algunos detalles que acentuó.



Las actividades de divulgación científica que ofrece el CICESE, como el taller impartido por Norma Herrera, el evento de La Noche de las Ciencias y las visitas de estudiantes de preparatoria, son parte de los valiosos esfuerzos que realiza el centro, señaló el joven Daniel Rivera.

El estudiante de la maestría en Ciencias de la Vida coincidió con María Fernanda respecto a la interdisciplinariedad que hay en el centro, la facilidad de coincidir con otros posgrados para elevar su aprendizaje, además de la libertad que tiene para llevar a cabo su tesis.

Daniel también disfruta de actividades como salidas a la playa y dar paseos en bicicleta para convivir con otros estudiantes.

El también presidente de la Sociedad Estudiantil de Ciencias de la Vida distinguió la importancia de ser estudiante en un centro de investigación de gran prestigio.

“A mí lo que me ha gustado mucho del CICESE es que, al ser una institución de alto nivel y reconocida a nivel internacional, es un poco más sencillo que te volteen a ver”, compartió.

Beatriz Valdez, estudiante del doctorado en Ciencias de la Tierra, recordó la accesibilidad de los investigadores y el buen trato que ha recibido desde su llegada.

La joven compartió que el CICESE es una institución que exige, pues tanto clases como docentes e investigaciones tienen muy alta calidad, y su experiencia como estudiante de maestría y doctorado en el centro lo confirma.

El hecho de que haya un gimnasio es otro de los detalles a destacar: **“si me siento estresada voy, hago ejercicio y me relajo sin la necesidad de trasladarme a otro lado”,** compartió.

Oportunidades para los estudiantes, como presentar trabajos en congresos, es otra de las actividades que nutren la experiencia de pertenecer al centro, ya que se da a conocer a la institución a nivel nacional e internacional, a la par de los trabajos realizados por su alumnado, detalló Beatriz.

Sobre el apoyo gubernamental destinado a la investigación, la joven destacó que **“tal vez no tenemos todos los recursos financieros que los países del primer mundo, pero sí tenemos el recurso humano y podemos hacer muy buenos trabajos con eso”.**

El acercamiento de Andrea Cruz Roja al CICESE fue a través de los investigadores de la Unidad Monterrey. La joven estudiante de la maestría en Tecnologías Avanzadas e Integradas compartió que realizó sus prácticas de licenciatura en la unidad foránea, por invitación de uno de sus profesores de universidad, quien también imparte clases en Monterrey.

Gustosa de elevar su conocimiento, aprovechó la oportunidad de participar en un verano de investigación en el CICESE, y fue entonces que se enamoró: comprendió que estudiaría en la Unidad Monterrey la maestría que hoy está a poco de concluir. Los investigadores la ayudaron en todo el proceso.

Le tocó estudiar gran parte del posgrado en modalidad virtual debido a la pandemia de covid-19, pero no fue impedimento para ella y se adaptó con facilidad. Con el regreso a la nueva normalidad, volvieron las clases presenciales y Andrea tuvo que adecuarse otra vez.

Parte de los beneficios de asistir al campus es la convivencia con sus compañeros y profesores: **“todos son muy amables, somos como una familia, los investigadores buscan ayudarnos en todo, nos cuidan mucho, ya que el centro es pequeño y somos pocos”,** comentó Andrea.

Respecto a la aportación del CICESE a su formación, Andrea resaltó que **“me ha ayudado a siempre buscar más”,** a ser exigente consigo misma y aferrarse a encontrar el dato, la cita y la información que sustente su investigación, para la cual le han brindado mucha libertad.

La convivencia más allá de lo académico, como los viernes de comida regional con sus compañeros y compañeras, es otro de los detalles que destacó. Cada estudiante lleva un platillo de su estado y comparte con el resto.

“Yo admiro a todos mis maestros porque no sólo nos brindan conocimiento, siempre nos están apapachando, siempre te tienden la mano cuando tienes un problema y eso hace que no te sientas solo”, concluyó.

Desde la visión de los estudiantes que hoy recorren los pasillos del CICESE, pertenecer a la institución es un orgullo. Saben que van a ser vistos cuando digan que estudian aquí. En algún momento formarán parte de los egresados y recordarán que el centro aportó a su formación, que este es el sitio en el cual hicieron grandes amigos e iniciaron su maduración profesional.

*Integrantes del Departamento de Comunicación.

► Los multiperfiles profesionales de nuestros egresados

Jazmín Félix*

Se pasearon por los primeros laboratorios del CICESE, estrenaron clases, docentes, y crecieron junto a las divisiones académicas. Los egresados de posgrado han sido fundamentales para la construcción de una historia de 50 años.

Luego de graduarse, algunos se aventuraron a otros países y muchos decidieron quedarse. Hoy hacen ciencia dentro y fuera de laboratorios de instituciones nacionales e internacionales, investigación sobre genética en Australia, dirigen universidades y asociaciones.

Otros han preferido el emprendimiento y se dedican a desarrollar tecnología o cultivar lechugas con el aprendizaje obtenido en el centro. Sus trabajos son portada de importantes revistas científicas y han sido reconocidos con premios gracias a sus aportaciones a la sociedad.



Algunos estudiantes enfrentaron los efectos de la pandemia por covid-19 y se adaptaron. En 2022 lograron graduarse 165 de maestría y doctorado, pese a vivir los últimos años de aprendizaje a través de una pantalla. Eso fue porque el CICESE, al igual que ellos, reaccionó y actuó. El compromiso con ellos y la ciencia no se detuvo.

Lo dijo el doctor Carlos Brizuela en la ceremonia de graduación de 2021: “los egresados del CICESE han sido tomadores de decisiones clave en el sector privado y gubernamental; premios nacionales de ciencias; investigadores en congresos internacionales de tecnologías de vanguardia; profesores en universidades de prestigio tanto en México como en el extranjero, y fundadores de empresas líderes y de impacto”

“El CICESE es una institución excelente, no sólo en México, también internacionalmente, abundan oportunidades para interactuar con gente de afuera, y no sólo con ellos, pues los investigadores del centro tienen mucha preparación”, refirió Jonathan Sandoval, egresado de Ecología Marina y creador de una patente. Hace años se asentó en Australia para trabajar en el Laboratorio de Ecología Molecular de la Universidad de Flinder.

“Tuve una excelente experiencia, bastante soporte tanto intelectual como monetario para desarrollarme, además de mucho apoyo para realizar mi tesis, y conocí personas que hasta ahora son mis amigos, buenos colaboradores”, rememoró el doctor Eddy F. Sánchez León-Hing, egresado de Ciencias de la Vida e investigador en la Universidad de Columbia Británica, en Vancouver, Canadá.

Christian Portillo, egresado de la maestría en Ecología Marina, describió su experiencia en el CICESE “como maravillosa, estar en contacto con personas que generan ciencia de calidad y aprender de ellos fue muy valioso, los investigadores están conectados con la problemática ambiental y eso se refleja en las líneas de investigación que cada uno desarrolla, y eso es muy importante para la sociedad”.



Por su parte, la egresada de Ciencias de la Vida, Evnika Zarina, quien emprendió un negocio agroalimentario, destacó la responsabilidad de los egresados del CICESE: “**todos los que estudiamos en centros de investigación públicos tenemos un compromiso muy grande con la sociedad para que a las personas les vaya mejor. Nosotros somos núcleos celulares, hay que hacer crecer esas células y multiplicarse**”.

Y el CICESE se multiplica. Cinco décadas de aportar a la sociedad con más de 3 mil 600 egresados es evidencia de ello.

*Integrante del Departamento de Comunicación.

Egresados del CICESE			
No. de egresado	Nombre	Fecha de egreso	Programa de estudios
1er egresado de maestría	Cecilio Rebollar Bustamante	4 de mayo de 1977	Ciencias de la Tierra
1er egresado de doctorado	Martín Celaya Barragán	14 de julio de 1987	Óptica
Egresado 500	Mauricio Reyes Carmona	19 de noviembre de 1996	Maestría en Electrónica y Telecomunicaciones
Egresado 1000	Alejandro Jiménez Lagunes	6 de mayo de 2003	Maestría en Oceanografía Física
Egresado 1500	Héctor Javier Estrada García	9 de abril de 2008	Doctorado en Electrónica y Telecomunicaciones
Egresado 2000	Maythé Raquel Zúñiga Rojas	26 de septiembre de 2012	Maestría en Ciencias de la Computación
Egresado 2500	Daniel Eduardo Hernández Morales	29 de febrero de 2016	Doctorado en Ciencias de la Computación
Egresado 3000	Denise Lubinsky Jinich	5 de julio de 2019	Doctorado en Ciencias de la Vida
Egresado 3500	Sarid García Pérez	25 de noviembre de 2022	Maestría en Ciencias de la Computación

5

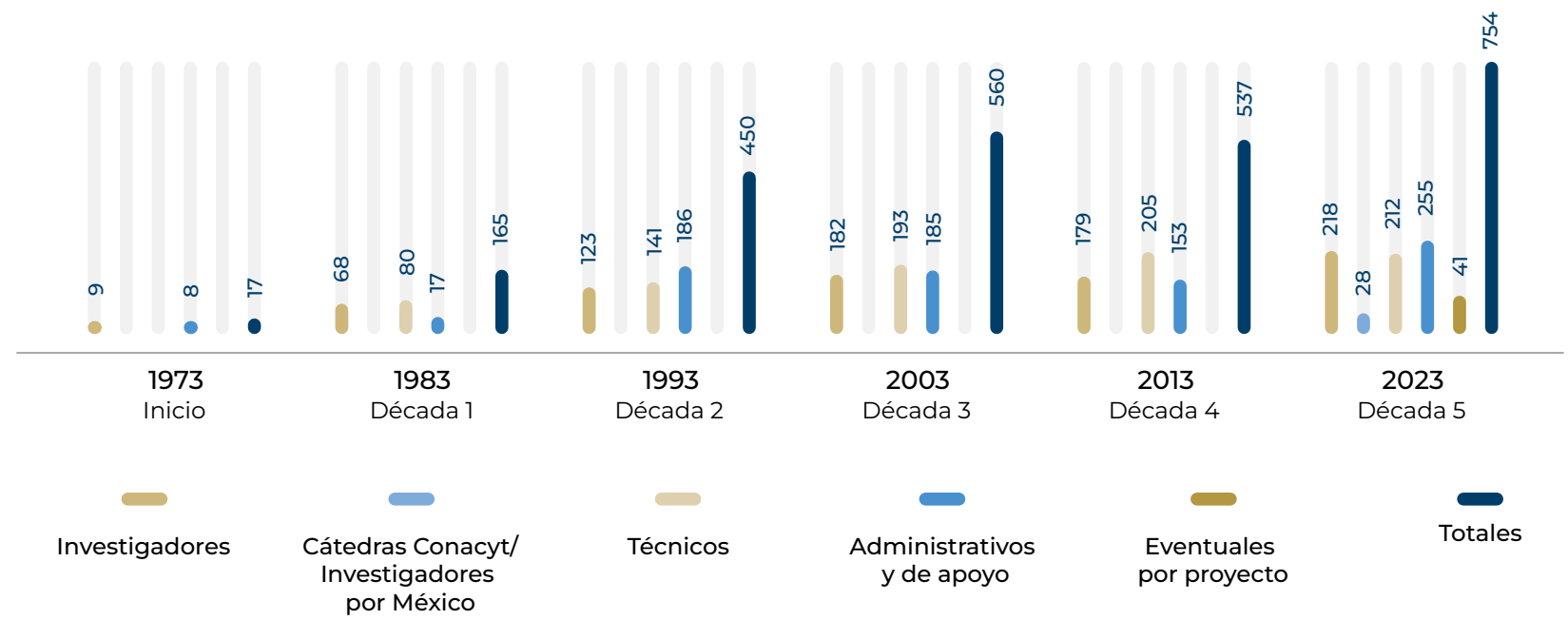
CAPÍTULO

El CICESE
en números

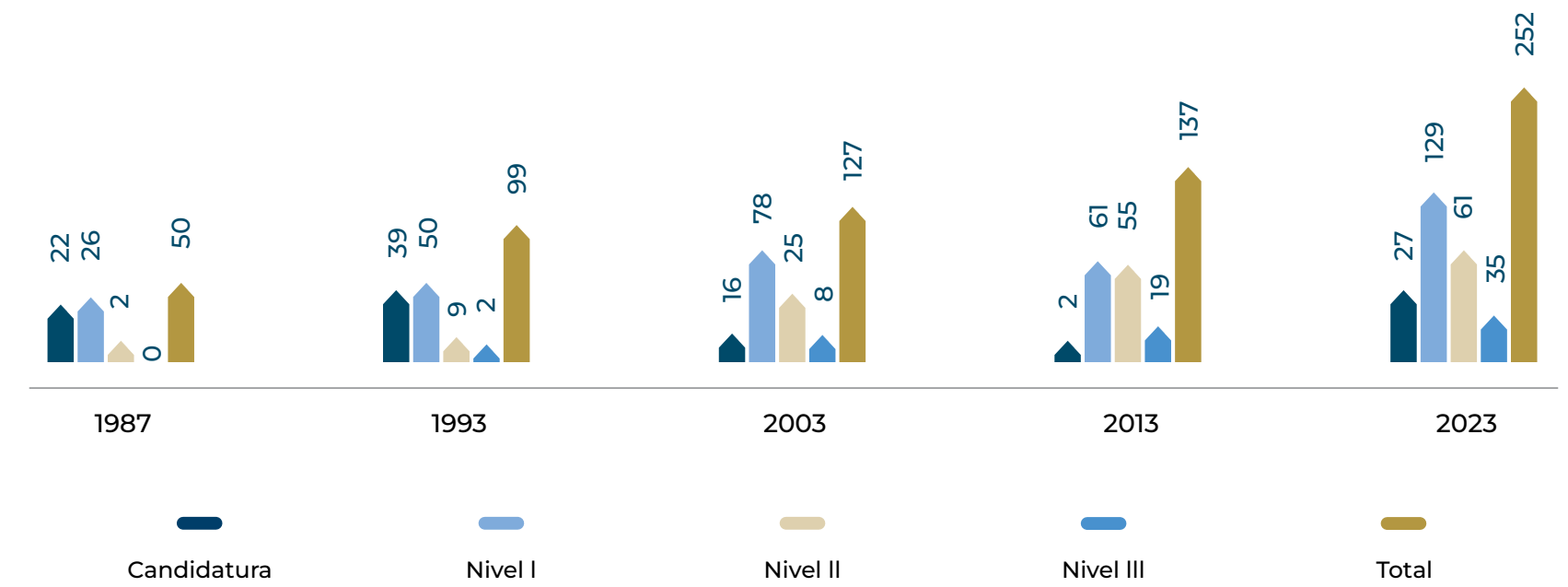


Compendio estadístico

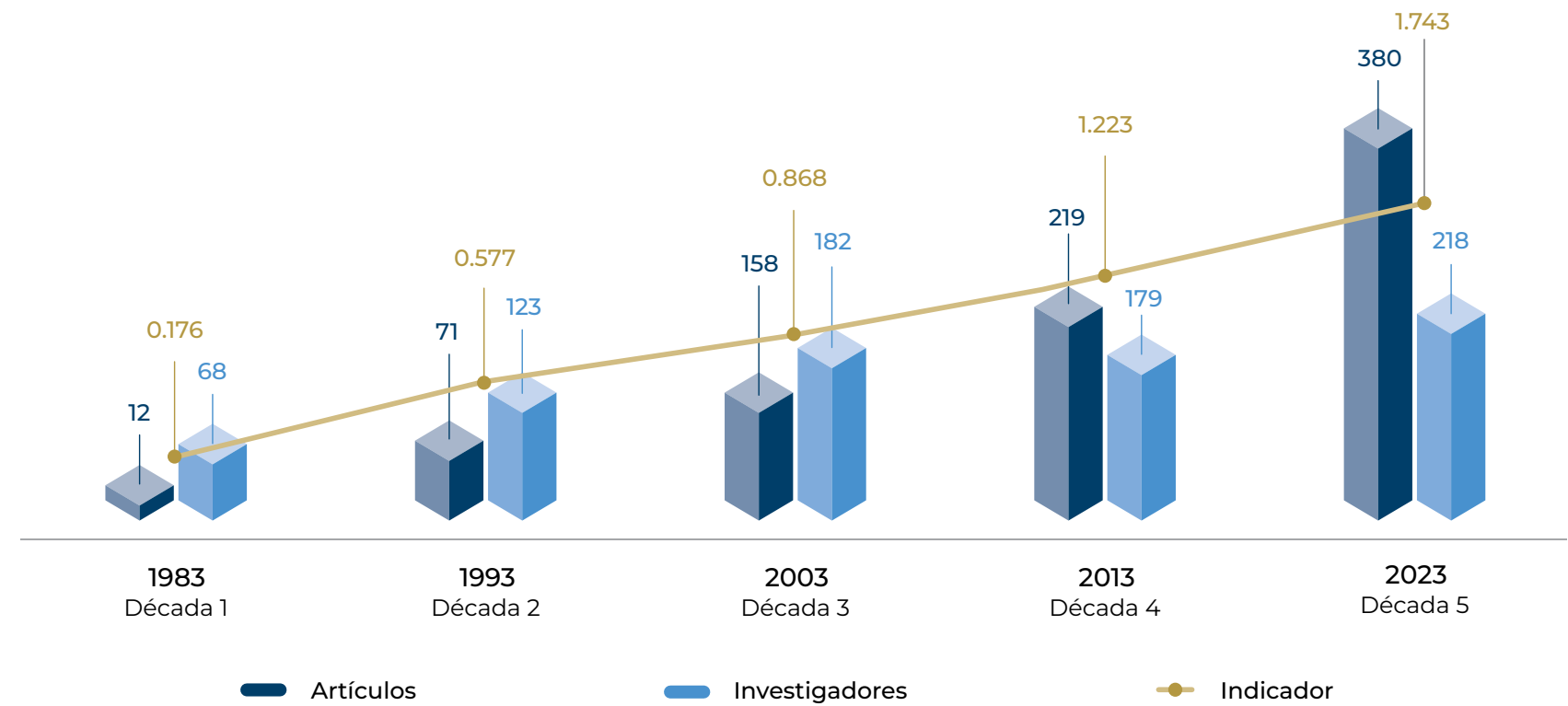
Personal del CICESE a través de las décadas



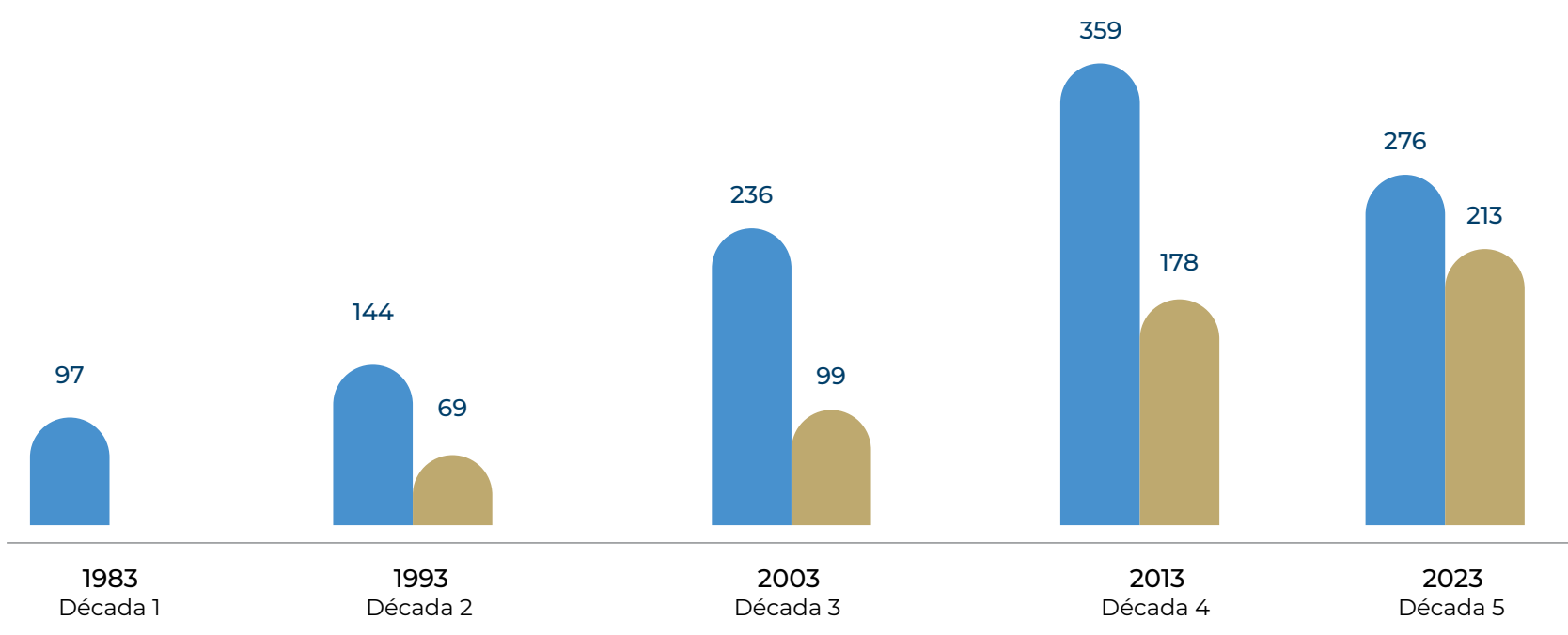
Personal del CICESE en el Sistema Nacional de Investigadores



Artículos arbitrados, por investigador, por año



Estudiantes vigentes de maestría y doctorado, por año, por década



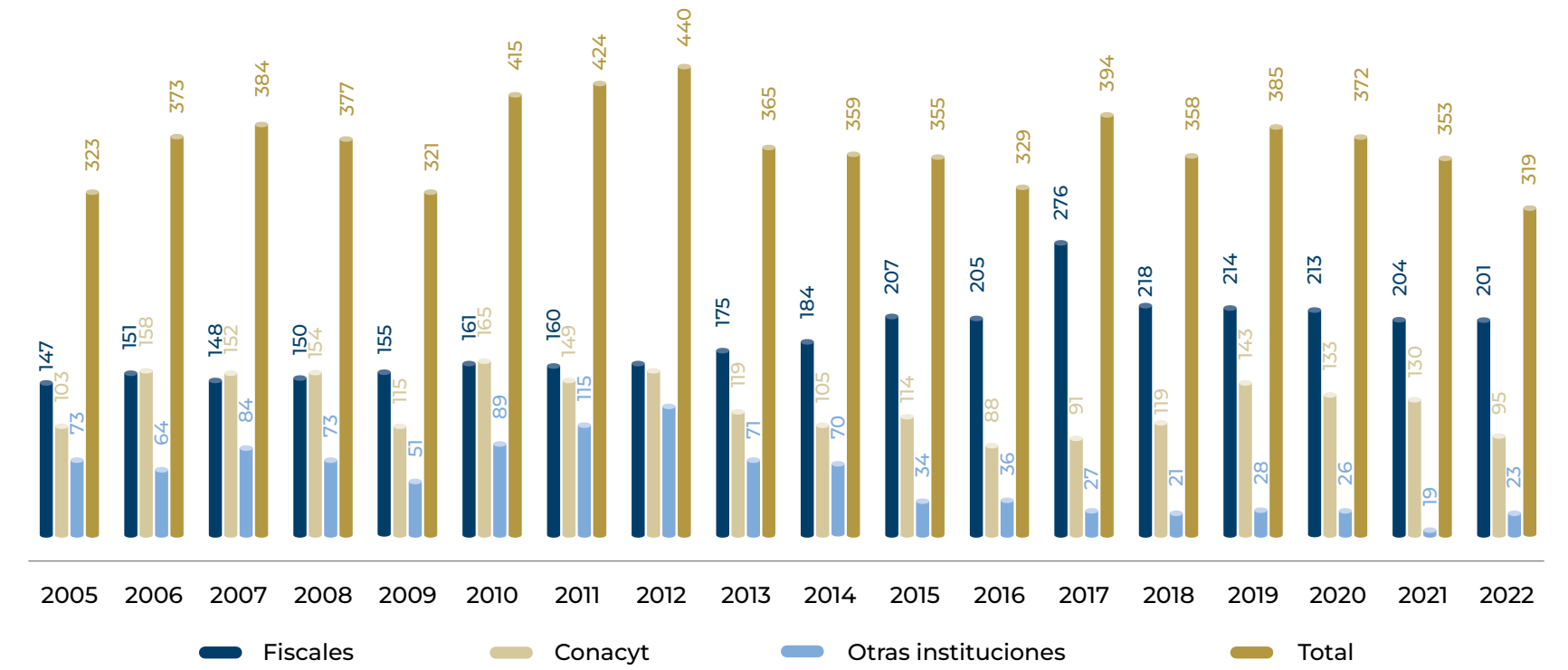
*Datos a junio de 2023

Egresados de maestría y doctorado, por décadas y total de egresados

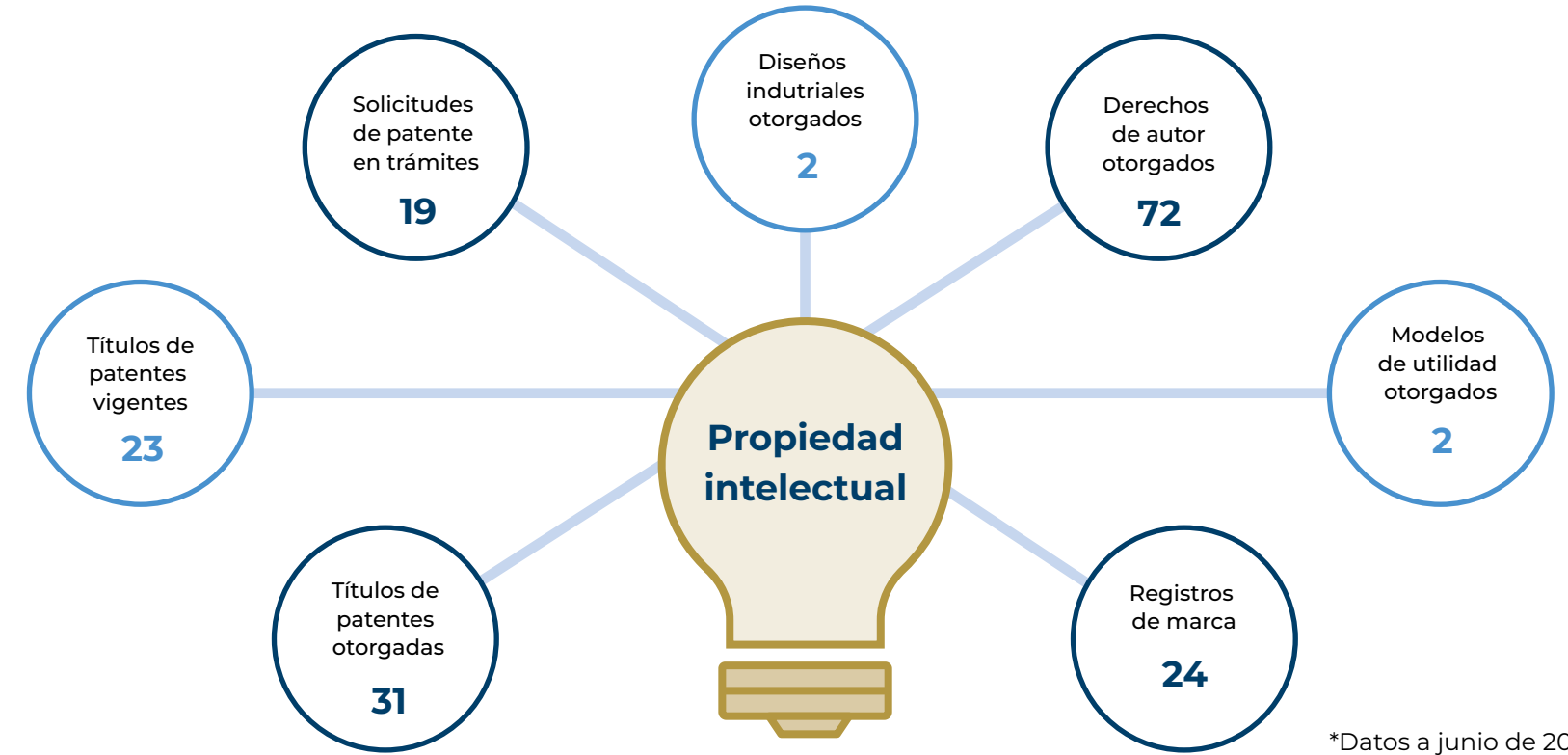
Categorías	1983 Década 1		1993 Década 2		2003 Década 3		2013 Década 4		2023* Década 5	
	Maestría	Doctorado	Maestría	Doctorado	Maestría	Doctorado	Maestría	Doctorado	Maestría	Doctorado
Por década	58	0	266	22	570	141	876	227	1136	298
Total acumulativo	58	0	324	22	894	163	1770	390	2906	688
Total de egresados	58		346		1057		2160		3594	

*Datos a junio de 2023

Total de proyectos desde 2005, por tipo



*Datos a junio de 2023



*Datos a junio de 2023

*El presente libro, Historias de Ciencia, Arraigo y Excelencia,
se terminó de imprimir en septiembre de 2023
en los talleres de Imprecolor del Noroeste,
con un tiraje de 800 ejemplares.*

www.cicese.edu.mx

Centro de Investigación Científica y de
Educación Superior de Ensenada, Baja California



GOBIERNO DE
MÉXICO



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



ANIVERSARIO
CICESE

INVESTIGACIÓN,
EDUCACIÓN Y COMPROMISO
CON MÉXICO.