

## 11.1 Acuerdos de colaboración con los sectores de la sociedad (convenios, cartas de intención, ejemplos de colaboración) Doctorado en Ciencias en Computación

Departamento de Computación – CINVESTAV-IPN

PNPC 2021

Los proyectos son una parte vital del presupuesto para mantener el volumen de productividad del Departamento de Computación. Como se muestra en la Tabla 1, en los últimos años, el ingreso por proyectos ha igualado o superado a los recursos fiscales que se le asignan al departamento. En 2020, dichos recursos fiscales se desglosaron como sigue:

- Partida 2000 asignada: \$562,500.00
- Partida 3000 asignada: \$787,500.00
- Total asignado: \$1,350,000.00

Año	Número de proyectos	Monto (M.N.)
2012	1	\$1,288,000.00
2014	2	\$1,073,100.00
2015	1	\$257,611.00
2016	1	\$576,000.00
2017	1	\$1,530,000.00
2018	2	\$4,683,648.00
2019	6	\$2,528,505.00
2020	3	\$2,075,242.00
Total	17	\$14,012,106.00

Tabla 1. Ingreso por proyectos de investigación

Cabe destacar que, algunos proyectos de investigación iniciaron antes del periodo reportado, que va de 2016 a 2020, pero se incluyen en la Tabla 1 porque seguían vigentes en 2016.

Los recursos obtenidos por proyectos de investigación provienen, en su mayoría, de fondos públicos, pues sólo un 12% se ha obtenido de proyectos con la industria privada, como se muestra en la Figura 2.

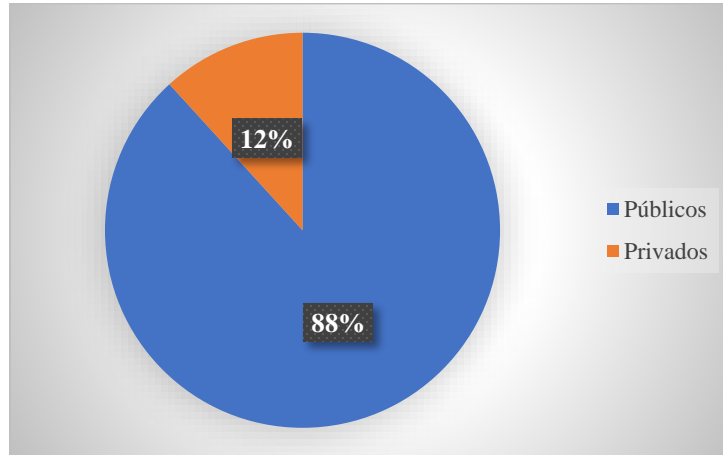


Figura 1. Fuentes de financiamiento de los proyectos de investigación

La vinculación y colaboración con universidades nacionales e internacionales, así como con empresas privadas es un beneficio inmaterial que traen los proyectos. Estas relaciones crean lazos de participación que fortalecen nuestro trabajo, permiten la movilidad de estudiantes, promueven el intercambio de puntos de vista y métodos de trabajo y cimentan amistades que aumentan el prestigio de nuestro departamento.

Estos proyectos de investigación nos han permitido colaborar con instituciones nacionales (ver cuadros azules en la Figura 2), con prestigiosas instituciones extranjeras localizadas en América, Europa, Asia, África y Medio Oriente (ver cuadros grises en la Figura 2) y con la industria.

Frutos de estas colaboraciones han sido numerosos artículos de revista indizada, artículos en conferencia internacional, tesis de maestría y doctorado, sistemas de software y algoritmos desarrollados por nuestros estudiantes que han roto récords mundiales.

Finalmente, dada la naturaleza inherente a nuestros programas, aproximadamente la mitad de los proyectos se clasifican como Ciencia Básica. No obstante, gracias a la variedad de líneas de investigación en nuestros grupos de trabajo, se han logrado llevar a buen puerto proyectos con una orientación más pragmática, como aquellos que se encuentran dentro de la clasificación de Ciencia de Frontera. Además, no dejamos atrás colaboraciones con sectores como el educativo, el productivo y el de la salud pública, especialmente ahora, como respuesta ante las circunstancias que la pandemia ha dejado al descubierto (ver Figura 3).

Más adelante, en este mismo documento, se proporciona un poco más de detalle de cada uno de nuestros proyectos, como el título del proyecto, la descripción, los objetivos, los resultados logrados, los beneficios a la ciencia, la vigencia del proyecto, el nombre del responsable técnico (que en este caso siempre es un miembro de nuestro Núcleo Académico), los participantes del proyecto, sus instituciones de adscripción y el producto obtenido por cada uno de ellos, la fuente de financiamiento y el monto asignado al proyecto.

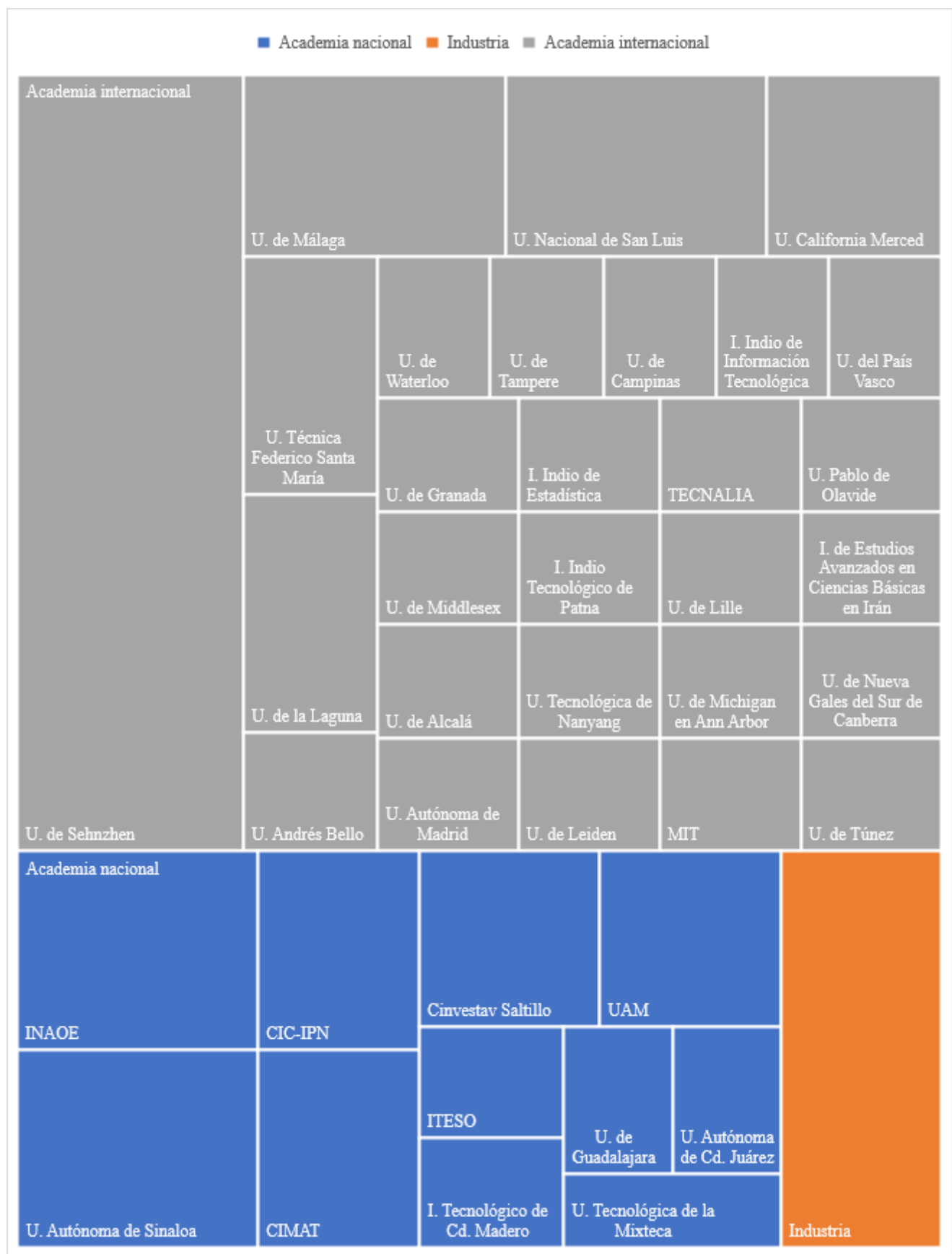


Figura 2. Colaboraciones derivadas de los proyectos de investigación del programa de posgrado

De los 17 proyectos de investigación financiados, que se derivan de las LGACs, ocho son de Ciencia Básica y nueve de Ciencia de Frontera. No obstante, algunos de estos abordan áreas prioritarias. Como se muestra en la Figura 3, cuatro proyectos tienen incidencia en el sector Salud, dos en el sector Productivo y otros dos en el sector Educativo. Los proyectos asociados al sector Salud provienen de las LGAC de Inteligencia Artificial y de Sistemas de Cómputo; en cuanto a los proyectos relacionados con el sector Educativo, estos resultan de la LGAC de Sistemas de Información, mientras que los proyectos inscritos en el sector Productivo se derivan de las LGAC de Sistemas de Cómputo y Sistemas de Información.

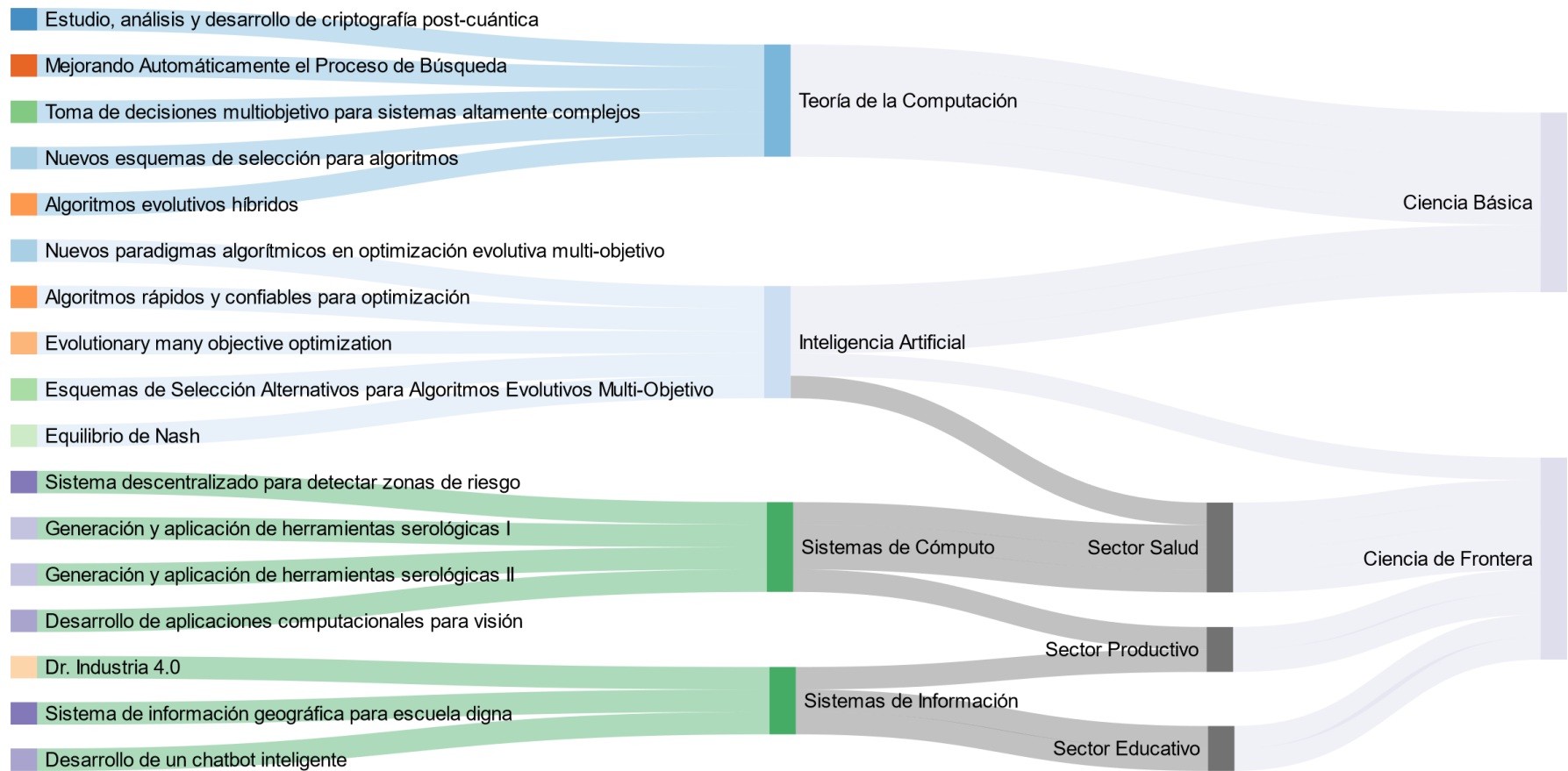


Figura 3. Proyectos de investigación financiados en Ciencia de Frontera y Ciencia Básica

- 1) **Proyecto:** Estudio, análisis y desarrollo de criptografía post-cuántica.
- Descripción:** En este proyecto de investigación, se pretende estudiar y analizar algunos de los problemas teóricos y prácticos más relevantes relacionados con la criptografía post-cuántica. Se implementará la simulación de ataques cuánticos implementados en computadoras convencionales sobre cripto-esquemas utilizados hoy en día.
- Objetivos:** Se propondrán criptosistemas difíciles basados en la teoría de isogéneros en curvas elípticas supersingulares. Se propondrán criptosistemas post-cuánticos basados en curvas híperelípticas. Se estimará la complejidad computacional cuántica de ataques a cripto-esquemas convencionales.
- Resultados:** Organización del congreso Latincrypt 2015 en Guadalajara, México, con la producción de un libro editado, y la presencia como conferencista invitado del Profesor Adi Shamir, premio Turing 2002. Cinco artículos JCR publicados en revistas pertenecientes al cuartil 1, con percentil del 85%. Un artículo de congreso élite publicado. Dos artículos de congreso.
- Beneficios:** La obtención del récord mundial en el cómputo del logaritmo discreto, demandó ingentes esfuerzos analíticos y computacionales. Para poder completar dicho cálculo fue esencial utilizar súper-cómputo mediante el uso de la súper computadora ABACUS del Cinvestav, del clúster de servidores del Departamento de Computación y de los servidores de la Universidad de Waterloo, Ontario, Canadá.
- Vigencia:** 26 de junio de 2012 al 17 de noviembre de 2016
- Investigador responsable:** Dr. Francisco José Rambo Rodríguez Henríquez
- Participantes del proyecto:** Gora Adj (coautor de un artículo de conferencia y dos artículos de revista), Alfred Menezes [[Universidad de Waterloo](#)] (coautor de un artículo de revista), Thomaz Oliveira (coautor de dos artículos de conferencia y cuatro artículos de revista), Luis J. Domínguez Pérez [[ITESO](#)] (coautor de un artículo de conferencia y dos artículos de revista), Isaac Canales-Martínez (coautor de un artículo de revista), Nareli Cruz Cortés [[CIC-IPN](#)] (coautor de dos artículos de revista), Luis Rivera-Zamarripa [[Universidad de Tampere](#)] (coautor de un artículo de revista), Julio César López-Hernández [[Universidad de Campinas](#)] (coautor de un artículo de conferencia y dos artículos de revista), Daniel Cervantes-Vázquez (coautor de un artículo de revista), Jesús-Javier Chi-Domínguez (coautor de un artículo de conferencia), Blanca C. López-Ramírez [[CIC-IPN](#)] (coautor de un artículo de revista).
- Fuente de financiamiento:** Fondo sectorial de investigación para la educación.
- Monto:** \$1,288,000.00 M.N.
- LGAC:** Teoría de la Computación.

- 1) **Proyecto:** Nuevos paradigmas algorítmicos en optimización evolutiva multi-objetivo.
- Descripción:** En este proyecto se desarrollaron nuevos algoritmos evolutivos multi-objetivo basados en indicadores de desempeño (p.ej., R2, Maximin, Hipervolumen, IGD+ y combinaciones de éstos) cuyo objetivo fue resolver eficiente y eficazmente problemas de alto grado de complejidad. Además, se desarrollaron algoritmos basados en coevolución cooperativa, así como implementaciones en GPUs.
- Objetivos:** El objetivo principal de este proyecto era el desarrollo de nuevos algoritmos evolutivos multi-objetivo usando paradigmas de diseño poco explorados en el área (p.ej., selección basada en indicadores).

**Resultados:** Se produjeron 29 artículos en revistas indizadas, 5 capítulos de libro y 37 artículos en extenso, presentados en congresos internacionales arbitrados. También se desarrollaron 3 tesis de doctorado y 3 de maestría con temas derivados de este proyecto.

**Beneficios:** Los resultados de este proyecto abrieron una nueva línea de investigación en el área (optimización evolutiva multi-objetivo para problemas con un gran número de variables) y han marcado tendencias en otras áreas (p.ej., en técnicas de selección basada indicadores).

**Vigencia:** 25 de junio de 2014 al 14 de enero de 2018.

**Investigador responsable:** Dr. Carlos Artemio Coello Coello.

**Participantes del proyecto:** Victoria Aragón [[Universidad Nacional de San Luis](#)] (coautor de un artículo de revista), Susana Esquivel [[Universidad Nacional de San Luis](#)] (coautor de un artículo de revista), Alejandro Rosales-Pérez [[INAOE](#)] (coautor de cinco artículos de revista y tres de conferencia), Jesus A. Gonzalez [[INAOE](#)] (coautor de tres artículos de revista), Hugo Jair Escalante (coautor de dos artículos de revista), Carlos A. Reyes-Garcia [[INAOE](#)] (coautor de dos artículos de revista), Carlos Segura [[CIMAT](#)] (coautor de tres artículos de revista y un capítulo de libro), Alfredo G. Hernández-Díaz [[Universidad Pablo de Olavide](#)] (coautor de un artículo de revista), Adriana Menchaca (coautor de tres artículos de revista, tres de conferencia, y autora de su tesis de doctorado), Qiuzhen Lin [[Universidad de Shenzhen](#)] (coautor de seis artículos de revista), Zhiwang Liu [[Universidad de Shenzhen](#)] (coautor de un artículo de revista), Qiao Yan [[Universidad de Shenzhen](#)] (coautor de un artículo de revista), Zhihua Du [[Universidad de Shenzhen](#)] (coautor de un artículo de revista), Zhengping Liang [[Universidad de Shenzhen](#)] (coautor de un artículo de revista), Wenjun Wang [[Universidad de Shenzhen](#)] (coautor de un artículo de revista), Jianyong Chen [[Universidad de Shenzhen](#)] (coautor de un artículo de revista), Gustavo R. Zavala [[Universidad de Málaga](#)] (coautor de un artículo de revista), Antonio J. Nebro [[Universidad de Málaga](#)] (coautor de un artículo de revista), Francisco Luna [[Universidad de Málaga](#)] (coautor de un artículo de revista), Gara Miranda [[Universidad de la Laguna](#)] (coautor de un artículo de revista y un capítulo de libro), Coromoto León [[Universidad de la Laguna](#)] (coautor de un artículo de revista), Jesús Guillermo Falcón Cardona, Juan Luis Salazar Mendoza, Jorge Jiménez Montiel (para todos los anteriores: implementación y prueba de algoritmos), Luis Miguel Antonio, Raquel Hernández Gómez (para todos los anteriores: coautor de un artículo de revista).

**Fuente de financiamiento:** Fondo sectorial de investigación para la educación.

**Monto:** \$899,900.00 M.N.

**LGAC:** Inteligencia Artificial.

- 2) **Proyecto:** Mejorando Automáticamente el Proceso de Búsqueda de Algoritmos Evolutivos con Multiobjetivos.

**Descripción:** Este proyecto se centró en la identificación y análisis de estrategias que permitieran reducir el tiempo de cómputo y a su vez mejorar la calidad de la solución obtenida de los algoritmos evolutivos multi-objetivo mejor conocidos hasta la fecha.

**Objetivos:** Estudiar los algoritmos evolutivos multi-objetivo existentes y evaluar su rendimiento. Proponer estrategias que permitan mejorar el tiempo de cómputo y calidad de las soluciones de los mejores algoritmos seleccionados, basándose en la información que entregan los algoritmos de ajuste de parámetros.

**Resultados:** Se logró la publicación de dos artículos de conferencia.

**Beneficios:** Se estrechó la colaboración entre la Universidad Técnica Federico Santa María (de Chile) y el CINVESTAV-IPN. Además, los resultados de este proyecto se incluyeron en las tesis doctorales de: Raquel Hernández Gómez (CINVESTAV), Miriam Pescador Rojas (CINVESTAV) y Nicolás Rojas Morales (Universidad Técnica Federico Santa María).

**Vigencia:** 1 de enero del 2014 al 1 de enero de 2018.

**Investigador responsable:** Dr. Carlos Artemio Coello Coello.

**Participantes del proyecto:** Raquel Hernández Gómez (coautor de un artículo de conferencia), Miriam Pescador Rojas (coautor de un artículo de conferencia), Elizabeth Montero [[Universidad Andrés Bello](#)] (coautor de un artículo de conferencia), Nicolás Rojas-Morales [[Universidad Técnica Federico Santa María](#)] (coautor de dos artículos de conferencia), María Cristina Riff [[Universidad Técnica Federico Santa María](#)] (coautor de dos artículos de conferencia).

**Fuente de financiamiento:** Fondo sectorial de investigación para la educación.

**Monto:** \$173,200.00

**LGAC:** Teoría de la Computación.

## 2015

- 1) **Proyecto:** Algoritmos rápidos y confiables para optimización multi-objetivo por medio de hibridación de métodos orientados a conjuntos y estrategias evolutivas.

**Descripción:** El objetivo de este proyecto es hibridar técnicas de mapeo celular con técnicas evolutivas. Las técnicas de mapeo celular permiten el análisis confiable y completo de muchos sistemas, sin embargo, están (todavía) restringidas a problemas con pocas variables de decisión. Se espera que una hibridación con estrategias evolutivas y el uso de paralelismo masivo permita el tratamiento eficaz de problemas de dimensiones también superiores.

**Objetivos:** 1) Ampliación de las técnicas de cartografía celular para el tratamiento de problemas de dimensiones superiores, entre otras mediante el uso de paralelismo masivo. 2) Desarrollo de nuevos híbridos de mapeo celular y técnicas evolutivas para tratar de manera confiable problemas de dimensiones superiores. 3) Aplicación a problemas de diseño de ingeniería.

**Resultados:** Se publicó 1 libro, 2 capítulos de libro, 3 artículos de revista y 1 artículo de conferencia.

**Beneficios:** Una nueva clase de algoritmos que ayuda a calcular de manera confiable problemas de optimización multiobjetivo de mayor dimensión.

**Vigencia:** 1 de julio de 2015 al 31 de diciembre de 2016.

**Investigador responsable:** Dr. Oliver Steffen Schütze.

**Participantes del proyecto:** Dr. Jian-Qiao Sun [[Universidad de California Merced](#)], David Laredo Razo, Sergio Antonio del Ángel Morales Pacheco, Oliver Fernando Cuate González (para todos los anteriores: implementación y prueba de algoritmos), Sergio Jesús Alvarado García, Víctor Adrián Sosa Hernández, Carlos Ignacio Hernández Castellano (para todos los anteriores: coautor de un artículo de revista).

**Fuente de financiamiento:** UC Mexus-Conacyt Collaborative Grants Program.

**Monto:** \$12,500 USD.

**LGAC:** Inteligencia Artificial.

## 2016

- 1) **Proyecto:** *Evolutionary many objective optimization: Application to Smart cities and engineering desing.*

**Descripción:** Dado que los procesos de toma de decisiones son cada vez más complejos, hay una tendencia reciente a incluir cada vez más objetivos que se consideran al mismo tiempo en el proceso de optimización. Estos problemas se denominan muchos problemas de optimización objetiva (MaOP), para los que los métodos de solución son escasos. La idea de este proyecto es

ampliar el Explorador de Pareto para el tratamiento de MaOP no lisos para los que se deben utilizar técnicas evolutivas.

**Objetivos:** 1) Extensión del Explorador de Pareto para MaOP suaves: manejo de restricciones, detección de regiones de rodilla. 2) Ampliación del Pareto Explorer para problemas que no son fluidos. Para ello, las ideas de la EP deben realizarse mediante técnicas evolutivas. 3) Aplicación del PE a problemas de diseño de ingeniería.

**Resultados:** Se publicaron 4 artículos de revista y 2 de conferencia.

**Beneficios:** Una nueva clase de algoritmos para el tratamiento de muchos problemas de optimización de objetivos no uniformes.

**Vigencia:** 1 de marzo de 2016 al 31 de enero de 2020.

**Investigador responsable:** Dr. Oliver Steffen Schütze.

**Participantes del proyecto:** María Fernanda Beltrán Llorente (implementación y prueba de algoritmos), Sergio Jesús Alvarado García, Víctor Adrián Sosa Hernández, Carlos Ignacio Hernández Castellano, Oliver Fernando Cuate González (para todos los anteriores: coautor de un artículo de revista).

**Fuente de financiamiento:** Fondo de cooperación internacional en ciencia y tecnología (FONCICYT).

**Monto:** \$576,000.00 M.N.

**LGAC:** Inteligencia Artificial.

## 2017

- 1) **Proyecto:** Dr. Industria 4.0: sistema de toma de decisiones (DSS) para la evaluación del grado de respuesta tecnológica en empresas de manufactura avanzada, mercado y agilización de contrataciones.

**Descripción:** Generación del análisis y detección de errores para el aumento de la funcionalidad, fiabilidad y calidad del software “Doctor Industria 4.0”, el cual consiste en un sistema de soporte a la toma de decisiones (DSS) para evaluar las empresas de manufactura avanzada respecto a su capacidad tecnológica de respuesta a las necesidades del mercado de manufactura de productos especializados y servicios relacionados, así, como para la asimilación tecnológica de nuevas tendencias para la fabricación de ensamblajes complejos, piezas y refacciones para la industria aeronáutica, automotriz, transporte, telecomunicaciones, y otras.

**Objetivos:** Evaluar la funcionalidad y seguridad para garantizar la confiabilidad del software Dr. Industria 4.0 para la disminución de errores; y proponer mejoras en el proceso de desarrollo del software para la satisfacción del cliente.

**Resultados:** Matrices de pruebas (pruebas de funcionalidad y de estrés), establecer el nivel de calidad aplicando *Six Sigma*, diagrama de Pareto, análisis del modo y efecto de fallas (AMEF), casos de usos específicos, caso de uso general, diagramas de secuencia, maqueta, informe técnico.

**Beneficios:** Para la industria manufacturera automotriz determinar la cadena de suministros que se relacionan con nodos de participación económica. En tal identificación poder cruzar información con los censos económicos del INEGI con la finalidad de realizar estudios para la Secretaria de Economía. De la misma manera con la base de datos de los Tecnológicos de México para planeación de trabajo a sus egresados.

**Vigencia:** 21 de julio de 2017 al 31 de diciembre de 2017.

**Investigador responsable:** Dr. Sergio Víctor Chapa Vergara.

**Participantes del proyecto:** Andrés Giovanni Ciani Gutiérrez, Juan Manuel Arriaga Torres, Mayra Ordoñez Páramo, Rodrigo José Méndez Corona, Rocío Revilla Aquino (para todos los anteriores: diseño e implementación del sistema).



**Fuente de financiamiento:** Knowledge and Capital S.A. de C.V.

**Monto:** \$1,530,000.00 M.N.

**LGAC:** Sistemas de Información.

2018

- 1) **Proyecto:** Toma de decisiones multiobjetivo para sistemas altamente complejos.  
**Descripción:** El objetivo de este proyecto es diseñar y analizar algoritmos rápidos y fiables para el tratamiento de problemas de optimización de múltiples objetivos complejos (de alta dimensión, muy restringidos). Las herramientas desarrolladas deben utilizarse en el contexto de la conducción autónoma.  
**Objetivos:** 1) Desarrollo y extensión de nuevas técnicas de programación matemática para el tratamiento de problemas de optimización de múltiples y múltiples objetivos. 2) Desarrollo y extensión de nuevas estrategias evolutivas para la optimización multiobjetivo y multiobjetivo, con énfasis en la detección de regiones particulares de interés. 3) Hibridación de las técnicas mencionadas. 4) Aplicación a problemas relacionados con la conducción autónoma óptima.  
**Resultados:** Hasta el momento se han obtenido dos monografías, 3 libros, 2 capítulos de libro, 20 artículos de revista y 3 artículos de conferencia.  
**Beneficios:** Nuevos algoritmos para el tratamiento de MOP y MaOP complejos.  
**Vigencia:** 23 de julio de 2018 al 22 de agosto de 2021.  
**Investigador responsable:** Dr. Oliver Steffen Schütze.  
**Participantes del proyecto:** Dr. Jian-Qiao Sun [[Universidad de California Merced](#)], Dr. Carlos Segura [[CIMAT](#)], Dr. América Morales [[Cinvestav Saltillo](#)], Dr. Mario Castelan [[Cinvestav Saltillo](#)], María Fernanda Beltrán Llorente (implementación y prueba de algoritmos), Oliver Fernando Cuate González (coautor de un artículo de revista).  
**Fuente de financiamiento:** Fondo sectorial de investigación para la educación.  
**Monto:** \$3,473,500.00 M.N.  
**LGAC:** Teoría de la Computación.
  
- 2) **Proyecto:** Esquemas de Selección Alternativos para Algoritmos Evolutivos Multi-Objetivo.  
**Descripción:** En este proyecto se planteó estudiar los mecanismos alternativos de selección (no basados en optimalidad de Pareto) que se han reportado a la fecha en la literatura especializada en optimización evolutiva multiobjetivo. Esto incluye los esquemas basados en indicadores de desempeño y en transformaciones de un problema multi-objetivo a otro tipo de problema (p.ej., de asignación lineal) que resulte más fácil de resolver.  
**Objetivos:** El objetivo principal de este proyecto era el desarrollo de nuevos algoritmos evolutivos multi-objetivo usando esquemas alternativos de selección (o sea, no basados directamente en optimalidad de Pareto).  
**Resultados:** Este proyecto sigue en curso, pues se obtuvo una prórroga de un año (a octubre de 2021). Actualmente, se han producido 23 artículos en revistas indizadas y 20 artículos en extenso en congresos especializados, derivados de este proyecto. También se han graduado 3 estudiantes de doctorado y 4 de maestría con temas derivados de este proyecto.  
**Beneficios:** Los resultados de este proyecto abrieron una nueva línea de investigación en el área (en torno al uso de esquemas de transformación de problemas multiobjetivo a problemas de asignación lineal) y han marcado tendencias en otras áreas (p.ej., en técnicas de selección basada indicadores).  
**Vigencia:** 1 de enero de 2018 al 30 de octubre de 2021.  
**Investigador responsable:** Dr. Carlos Artemio Coello Coello.

**Participantes del proyecto:** Eduardo Fernández [[Universidad Autónoma de Sinaloa](#)] (coautor de tres artículos de revista), Sumit Mishra [[Instituto Indio de Información Tecnológica](#)] (coautor de tres artículos de revista y dos de conferencia), Javier Del Ser [[Universidad del País Vasco](#)] (coautor de un artículo de revista), Eneko Osaba [[TECNALIA](#)] (coautor de un artículo de revista), Daniel Molina [[Universidad de Granada](#)] (coautor de un artículo de revista), Xin-She Yang [[Universidad de Middlesex en Londres](#)] (coautor de un artículo de revista), Sancho Salcedo-Sanz [[Universidad de Alcalá](#)] (coautor de un artículo de revista), David Camacho [[Universidad Autónoma de Madrid](#)] (coautor de un artículo de revista), Swagatam Das [Instituto Indio de Estadística] (coautor de un artículo de revista), Ponnuthuari N. Suganthan [[Universidad Tecnológica de Nanyang](#)] (coautor de un artículo de revista), Sriparna Saha [[Instituto Indio Tecnológico de Patna](#)] (coautor de un artículo de revista), Zohreh Masoumi [[Instituto de Estudios Avanzados en Ciencias Básicas en Irán](#)] (coautor de un artículo de revista), Laura Cruz-Reyes [[Instituto Tecnológico de Ciudad Madero](#)] (coautor de un artículo de revista), J. Patricia Sánchez-Solis [[Universidad Autónoma de Ciudad Juárez](#)] (coautor de un artículo de revista), Jesús Guillermo Falcón-Cardona (coautor de un artículo de revista y siete de conferencia), Victoria Aragón [[Universidad Nacional de San Luis](#)] (coautor de un artículo de revista), Saber Elsayed [[Universidad de Nueva Gales del Sur Canberra](#)] (coautor de un artículo de revista), Raquel Hernández Gómez (coautor de un artículo de revista), David Guirguis [[Universidad de Michigan en Ann Arbor](#)] (coautor de un artículo de revista), Nikola Aulig [[Instituto de Investigación Europea de Honda](#)] (coautor de un artículo de revista), Bo Zhu [[Instituto Tecnológico de Massachusetts](#)] (coautor de un artículo de revista), Maha Elarbi [[Universidad de Túnez](#)] (coautor de un artículo de revista), Jorge Salinas Lara, Diana Valencia Rodríguez, Amín Vanya Bernabé Rodríguez, Oscar Pacheco del Moral (para todos los anteriores: implementación y prueba de algoritmos), Edgar Manóatl López, Miriam Pescador Rojas (para todos los anteriores: coautor de un artículo de revista).

**Fuente de financiamiento:** Fondo sectorial de investigación para la educación.

**Monto:** \$1,210,148.00 M.N.

**LGAC:** Inteligencia Artificial.

## 2019

- 1) **Proyecto:** Sistema de información geográfica para escuela digna.

**Descripción:** La clasificación es una tarea del aprendizaje automático que permite asignar una categoría a cada elemento de un conjunto de datos, a partir de un conjunto de elementos cuyas categorías son conocidas. De entre todas las aplicaciones que tiene, podemos utilizarla para clasificar a las regiones geográficas del país de acuerdo al nivel socioeconómico de la población de estas. Sin embargo, la información necesaria para determinar el nivel socioeconómico de una región es proporcionada mediante los censos de población y vivienda que efectúa el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) con una periodicidad de 10 años. En el presente trabajo estudiamos la posibilidad de realizar una clasificación de las regiones de México por nivel socioeconómico, con base en el tipo y la cantidad de unidades económicas que estas posean.

**Objetivos:** Se implementará una metodología basada en algoritmos de inteligencia artificial (IA) con información geoestadística y de las escuelas en México, para determinar su nivel de calidad educativa.

**Resultados:** Fueron probados diversos tipos de algoritmos de clasificación; el modelo creado por un bosque aleatorio es el que otorga la mayor exactitud, con un 70% de regiones correctamente clasificadas para un número de 3 clases.

**Beneficios:** El presente trabajo puede funcionar como un método de consulta, e.g., se pondría información de la escuela, tipo de escuela, grado de marginación, los tres niveles de clasificación que se obtuvieron, el turno, etc. Además, puede servir para la toma de decisiones, para programas como escuela DIGNA, ya que se muestra las escuelas que necesitan más atención.

**Vigencia:** 1 de marzo de 2019 al 31 de marzo de 2021.

**Investigador responsable:** Dr. Sergio Víctor Chapa Vergara.

**Participantes del proyecto:** Sergio Daniel Romero García, Raúl Maximiliano Urrutia Hernández, Erika Hernández Rubio [[ESCOM-IPN](#)], Rocío Revilla (para todos los anteriores: diseño e implementación del sistema).

**Fuente de financiamiento:** Fondo de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico del CINVESTAV-IPN

**Monto:** \$300,000.00 M.N.

**LGAC:** Sistemas de Información.

- 2) **Proyecto:** Nuevos esquemas de selección para algoritmos evolutivos multi-objetivo basados en indicadores de desempeño.

**Descripción:** En este proyecto se planteó estudiar las propiedades matemáticas de diferentes indicadores de desempeño del estado del arte con el fin de proponer nuevos esquemas de selección y/o estimadores de densidad para algoritmos evolutivos multi-objetivo (AEMOs). El objetivo era que dichos mecanismos requirieran información adicional mínima y que permitieran que los AEMOs en los que se incorporaran pudieran resolver problemas de baja y alta dimensionalidad en el espacio de las funciones objetivo, con un bajo costo computacional.

**Objetivos:** El objetivo principal de este proyecto era desarrollar al menos un nuevo algoritmo evolutivo multi-objetivo con un mecanismo de selección basado en una combinación de indicadores de desempeño. Dicho algoritmo debería ser escalable (en el espacio de las funciones objetivo) y debiera tener un costo computacional bajo.

**Resultados:** Este proyecto se interrumpió debido a la extinción del fideicomiso con que contaba el Cinvestav. Sin embargo, se lograron derivar 2 artículos de revista, 7 en congresos internacionales y 1 estudiante de doctorado de temas relacionados con el mismo.

**Beneficios:** Los resultados de este proyecto abrieron una nueva línea de investigación en el área (el diseño de mecanismos de selección basados en la combinación de indicadores de desempeño).

**Vigencia:** 1 de enero de 2019 al 31 de diciembre de 2020.

**Investigador responsable:** Dr. Carlos Artemio Coello Coello.

**Participantes del proyecto:** Oscar Pacheco del Moral (implementación y prueba de algoritmos), Jesús Guillermo Falcón Cardona, Miriam Pescador Rojas, Jorge Jiménez Montiel, Silvia González Brambila [[UAM-Azcapotzalco](#)], Josué Figueroa Gamboa [[UAM-Azcapotzalco](#)] (para todos los anteriores: coautor de un artículo de revista), Michael Emmerich [[Universidad de Leiden](#)] (coautor de dos artículos de conferencia), María Guadalupe Castillo Tapia [[UAM-Azcapotzalco](#)] (coautora de un artículo de revista y uno de conferencia), Hisao Ishibuchi [Universidad de Shenzhen] (coautor de dos artículos de conferencia), Arnaud Liefooghe [Universidad de Lille] (coautor de un artículo de conferencia).

**Fuente de financiamiento:** Fondo de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico del CINVESTAV-IPN

**Monto:** \$305,000.00 M.N.

**LGAC:** Teoría de la Computación.

- 3) **Proyecto:** Desarrollo de un chatbot inteligente para asistir el proceso de enseñanza/aprendizaje en temas educativos y tecnológicos.

**Descripción:** Sentar las bases de un nuevo tipo de chatbots aplicados a la educación, adaptables a la personalidad de los alumnos y que ayuden a mejorar el proceso de enseñanza/aprendizaje de profesores y alumnos, con base en un modelo de estilos de aprendizaje.

**Objetivos:** Construir un chatbot inteligente que sirva de intermediario entre el profesor y sus alumnos para reforzar los procesos de enseñanza/aprendizaje.

**Resultados:** Primera versión de un sistema de software que asista a un grupo de alumnos en los procesos de enseñanza/aprendizaje de temas educativos y tecnológicos, dos artículos de revista, dos artículos de conferencia internacional, una patente y un registro de derecho de autor.

**Beneficios:** El chatbot ayudará a los profesores a preparar sus actividades académicas, con base en las características de aprendizaje de cada uno de sus alumnos. Asimismo, el chatbot permitirá a los alumnos expresar sus inquietudes y problemas académicos o personales, utilizando lenguaje natural y les ofrecerá orientación, con base en su tipo de personalidad.

**Vigencia:** 1 de marzo de 2019 al 31 de marzo de 2021.

**Investigador responsable:** Dra. Sonia Guadalupe Mendoza Chapa

**Participantes del proyecto:** Dr. José Guadalupe Rodríguez García (coautor de dos artículos de conferencia y dos artículos de revista), Dr. Amilcar Meneses Viveros (coautor de dos artículos de conferencia y dos artículos de revista), M. en C. Luis Martín Sánchez Adame (coautor de dos artículos de conferencia y dos artículos de revista), M. en C. José Fidel Urquiza Yllescas (coautor de un artículo de revista) e Ing. Víctor Hugo Espinoza Sixtos (implementación del sistema).

**Fuente de financiamiento:** Fondo de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico del CINVESTAV-IPN

**Monto:** \$396,505.00 M.N.

**LGAC:** Sistemas de Información.

- 4) **Proyecto:** Algoritmos evolutivos híbridos para problemas de optimización multiobjetivo con restricciones.

**Descripción:** Este proyecto aborda el diseño y análisis de algoritmos híbridos, en particular para el tratamiento eficaz de problemas de optimización multiobjetivo restringidos. En particular, las restricciones de igualdad todavía representan un desafío para las estrategias evolutivas que deberían reducirse mediante una hibridación con técnicas de programación matemática similares a la continuación.

**Objetivos:** 1) Extensión de técnicas de programación matemática de tipo continuación para el tratamiento de MOP con restricciones de igualdad. 2) Hibridación de las técnicas mencionadas con algoritmos evolutivos. 3) Diseño de nuevos problemas de referencia que permitan probar algoritmos evolutivos sobre su desempeño en MOP restringidos por igualdad.

**Resultados:** Hasta el momento se han publicado 4 artículos de revista.

**Beneficios:** Nuevos algoritmos para el tratamiento confiable de MOP con restricciones de igualdad.

**Vigencia:** 1 de marzo de 2019 al 31 de marzo de 2021.

**Investigador responsable:** Dr. Oliver Steffen Schütze.

**Participantes del proyecto:** María Fernanda Beltrán Llorente (implementación y prueba de algoritmos), Oliver Fernando Cuate González (coautor de un artículo de revista).

**Fuente de financiamiento:** Fondo de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico del CINVESTAV-IPN

**Monto:** \$200,000.00 M.N.

**LGAC:** Teoría de la Computación.

- 5) **Proyecto:** Desarrollo de aplicaciones computacionales para visión y procesamiento de señales.
- Descripción:** Se trató de reconocer fallas en productos fabricados mediante visión por computadora. Por otro lado, en el procesamiento de señales, en una aplicación estas eran de tipo auditivo y en otra de tipo de vibraciones. En los proyectos desarrollados se procura reconocer buenos funcionamientos de productos terminados.
- Objetivos:** Reconocer productos terminados que cumplan con estándares de calidad y desechar los que no, en líneas de producción.
- Resultados:** Se programaron los sistemas correspondientes y fueron dispuestos en un servidor central de la fábrica para ser descargados y utilizados en las máquinas fabricantes, éstas últimas, robots de fabricación.
- Beneficios:** Acercamiento entre nuestro centro de investigación y empresas industriales.
- Vigencia:** 1 de diciembre de 2019 al 31 de julio de 2020.
- Investigador responsable:** Dr. Guillermo Benito Morales Luna.
- Participantes del proyecto:** Dr. Luis Gerardo de la Fraga (problemas de visión por computadora) y Dr. Amilcar Meneses Viveros (procesamiento de señales).
- Fuente de financiamiento:** [Se prefiere mantener el anonimato de la empresa.](#)
- Monto:** \$450,000.00 M.N.
- LGAC:** Sistemas de Cómputo.
- 6) **Proyecto:** Equilibrio de Nash, modelo de Ising y distribución de probabilidades para cooperación en juegos.
- Descripción:** Uso del equilibrio de Nash para la selección de estrategias en soccer, beisbol futbol americano. El modelo de Ising se utiliza para la modelación del juego de Go; se aplica esta modelación en la dinámica interactiva del crecimiento del cáncer y la respuesta del sistema inmune. El manejo de parámetros se hace con reglas y distribución de probabilidades.
- Objetivos:** Desarrollo de teoría formal y algoritmos sobre: 1) utilizar el equilibrio de Nash (EN) en juegos con reglas deterministas, y, 2) el modelo de Ising (MI) para formalizar juegos de tipo estocástico. La cuantificación en ambos casos es con distribución de probabilidades. 3) Diseño e implementación de algoritmos para simulaciones. 4) Pruebas de desempeño. 5) Casos: juego futbol americano y soccer.
- Resultados:** Teoría sobre uso del modelo de Ising y probabilidades para elección de estrategias en juegos estocásticos. Diseño e implementación de algoritmos para simulaciones del juego estocástico cáncer vs sistema inmune. Pruebas de desempeño del sistema creado. Caso de estudio C, sobre el crecimiento y control del cáncer. Publicación de resultados en revistas JCR (6) y eventos especializados (6).
- Beneficios:** Las teorías formales y simulaciones 1) con EN, habilitan para seleccionar estrategias en juegos complejos de grupo, en áreas sociales, laborales y económicas; 2) con MI para seleccionar estrategias en procesos biológicos complejos como el crecimiento del cáncer y la respuesta inmune.
- Vigencia:** 28 de octubre de 2019 al 27 de octubre de 2022.
- Investigador responsable:** Dr. José Matías Alvarado Mentado.
- Participantes del proyecto:** Renato Arroyo Duarte [[Universidad de Guadalajara](#)], Daniela I. Flores Silva [[Universidad Tecnológica de la Mixteca](#)].
- Fuente de financiamiento:** Fondo sectorial de investigación para la educación.
- Monto:** \$877,000.00 M.N.
- LGAC:** Inteligencia Artificial.

- 1) **Proyecto:** Sistema descentralizado para detectar zonas de riesgo y contacto con personas confirmadas con COVID-19 protegiendo la privacidad de los participantes.

**Descripción:** Se desarrolló una aplicación para teléfonos inteligentes llamada Applacovid que ayuda al rastreo de contactos de personas confirmadas con contagio de COVID-19. La aplicación hace uso de criptografía para generar identificadores efímeros que anonimizan la interacción entre los teléfonos inteligentes con la aplicación instalada protegiendo así la identidad de los usuarios.

**Objetivos:** Desarrollar un sistema descentralizado que notifique a los usuarios sobre contactos cercanos con personas confirmadas con COVID-19 y que sea capaz de detectar zonas de riesgos. El sistema deberá preservar el anonimato de las personas portadoras del virus, así como la privacidad de todos los usuarios del sistema.

**Resultados:** Se desarrolló la aplicación de rastreo de contactos COVID-19 para teléfonos Android y iPhone, se implementó el servidor que comunica a los usuarios de un contacto con una persona confirmada con COVID-19, se realizó una página web que muestra el funcionamiento de la aplicación y muestra mapas de zonas de riesgo. Se realizaron vídeos explicativos del funcionamiento de la aplicación.

**Beneficios:** La aplicación desarrollada puede ser utilizada para facilitar el rastreo de contactos de COVID-19 y así cortar las cadenas de transmisión del virus. La aplicación fue probada en un gran rango de teléfonos inteligentes por lo que su uso por la población en México puede ser masivo. Igualmente puede ser utilizada para proteger comunidades cerrada como hospitales, empresas o campus universitarios.

**Vigencia:** 1 de junio de 2020 al 30 de noviembre de 2020.

**Investigador responsable:** Dr. Francisco Rodríguez Henríquez.

**Participantes del proyecto:** Dra. Brisbane Ovilla Martínez, Dr. Cuauhtémoc Mancillas López (para todos los participantes anteriores: aplicación móvil, servidor de notificaciones, página web y visualizador de zonas de riesgo), Ángel Isaac Rodríguez Cosme, José Abraham Bernal Gutiérrez, Karla Jocelyn Campos Cruz, Jorge Chávez Saab (para todos los participantes anteriores: implementación del sistema).

**Fuente de financiamiento:** Apoyo para proyectos de investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación en salud ante la contingencia por COVID-19.

**Monto:** \$1,600,000.00 M.N.

**LGAC:** Sistemas de Cómputo.
  
- 2) **Proyecto:** Generación y aplicación de herramientas serológicas, moleculares y rastreo de contactos y movilidad, en 6 hospitales de 3 entidades de México, para el estudio, mitigación y contención de la epidemia de COVID-19.

**Descripción:** Se adaptará la aplicación móvil Applacovid para proteger una comunidad cerrada, específicamente hospitales. Se implementará la forma de certificar a los usuarios que se reporten como positivos a COVID-19, por ejemplo, la certificación del departamento de recursos humanos de dichos hospitales.

**Objetivos:** Poner en funcionamiento la aplicación móvil Applacovid así como el servidor de notificaciones para que funcione al interior de algunos hospitales, de esta manera se rastrear los contactos de un trabajador que de positivo a COVID-19. Esto busca romper las cadenas de contagio dentro de los hospitales.

**Resultados:** En desarrollo.

**Beneficios:** En desarrollo.

**Vigencia:** 1 de octubre del 2020 al 30 de abril del 2022.

**Investigador responsable:** Dr. Francisco Rodríguez Henríquez.

**Participantes del proyecto:** Dra. Brisbane Ovilla Martínez, Dr. Cuauhtémoc Mancillas López (para todos los participantes anteriores: en desarrollo), José Abraham Bernal Gutiérrez, Karla Jocelyn Campos Cruz, Jorge Chávez Saab (para todos los participantes anteriores: implementación del sistema).

**Fuente de financiamiento:** Fondo Conjunto de cooperación México - Uruguay.

**Monto:** \$15,000.00 USD.

**LGAC:** Sistemas de Cómputo.

- 3) **Proyecto:** Generación y aplicación de herramientas serológicas, moleculares y rastreo de contactos y movilidad, en 6 hospitales de 3 entidades de México, para el estudio, mitigación y contención de la epidemia de COVID-19.

**Descripción:** El sistema de Applacovid será enriquecido con el uso de dispositivos beacons localizados en diferentes puntos dentro de un hospital, mediante los cuales se podrán reconstruir las rutas que una persona contagiada de COVID-19 ha realizado durante ciertos días antes de saberse contagiado. De esta manera se pueden identificar zonas de riesgo y para alertar a no usuarios del sistema.

**Objetivos:** Tener un sistema integrado que por medio de teléfonos inteligentes permita rastrear contactos de COVID-19, y que sea capaz de reconstruir las rutas utilizadas por dicho usuario antes de saberse contagiado. El sistema mantendrá siempre el anonimato de todos los usuarios del sistema.

**Resultados:** En desarrollo.

**Beneficios:** En desarrollo.

**Vigencia:** 1 de octubre del 2020 al 30 de abril del 2022.

**Investigador responsable:** Dr. Francisco Rodríguez Henríquez.

**Participantes del proyecto:** Dra. Brisbane Ovilla Martínez, Dr. Cuauhtémoc Mancillas López (para todos los participantes anteriores: en desarrollo), José Abraham Bernal Gutiérrez, Karla Jocelyn Campos Cruz, Jorge Chávez Saab (para todos los participantes anteriores: implementación del sistema).

**Fuente de financiamiento:** Fondo Conjunto de cooperación México - Uruguay.

**Monto:** \$8,000.00 USD.

# **Convenios de proyectos y cartas de intención**