CONVOCATORIA 2023

Categoría: Equipos de Investigación en procesos de consolidación. Problemáticas: Problemáticas económicas y problemáticas de salud.

FONDO DE APOYO A LA INVESTIGACIÓN DEL ITESO

**FONDO DE APOYO A LA INVESTIGACIÓN DEL ITESO**

Periférico Sur Manuel Gómez Morín 8585. Tlaquepaque, Jalisco, México. CP: 45090. Teléfono: +52 (33) 3669 3434

ÍNDICE DE CONTENIDO

[1. INFORMACIÓN BÁSICA SOBRE EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN 5](#_Toc136463731)

[1.1. Nombre del proyecto 5](#_Toc136463732)

[1.2. Categoría a la que corresponde el proyecto (debidamente justificada) 5](#_Toc136463733)

[1.3. Fechas de inicio y de término del proyecto 5](#_Toc136463734)

[1.4. Palabras clave 5](#_Toc136463735)

[1.5. Resumen 5](#_Toc136463736)

[1.6. Descripción del PI al que pertenece el investigador responsable, así como de los otros PI involucrados 5](#_Toc136463737)

[1.7. Descripción y antecedentes de la línea de investigación del PI en la que participa el proyecto. 7](#_Toc136463738)

[1.8. Descripción y antecedentes de la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento (LGAC) del o los programas de posgrado a las que aporta el proyecto. 7](#_Toc136463739)

[1.9. Currículum Vitae del investigador coordinador, departamento o centro de adscripción, y horas semanales de encargo asignadas para actividades de investigación. 10](#_Toc136463740)

[1.10. Currículum Vitae de los investigadores colaboradores del ITESO, departamentos o centros de adscripción, y horas semanales de encargo asignadas para actividades de investigación (en caso de que participen). 11](#_Toc136463751)

[1.11. Currículum Vitae de los investigadores externos, adscripción, y horas semanales que dedicarán al proyecto (en caso de que participen). 14](#_Toc136463752)

[1.12. Estudiantes de posgrado o licenciatura participantes en el proyecto. Nombre completo y programa educativo de adscripción. 14](#_Toc136463753)

[2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO EN EXTENSO 15](#_Toc136463754)

[2.1. Objetivos (general y específicos) 15](#_Toc136463755)

[2.2. Problema(s) de investigación (incluye en su planteamiento, la argumentación sobre su relación con las problemáticas planteadas en la presente convocatoria y la descripción sobre su construcción interdisciplinar). 15](#_Toc136463756)

[2.3. Antecedentes en el campo científico 20](#_Toc136463757)

[2.4. Metodología (incluye la argumentación respecto a su abordaje interdisciplinar). 25](#_Toc136463758)

[2.5. Productos esperados y relación con los objetivos del (los) PFI relacionados. 32](#_Toc136463759)

[2.6. Cronograma de trabajo 32](#_Toc136463760)

[2.7. Bibliografía 38](#_Toc136463761)

[3. INTERLOCUCIÓN SOCIAL 40](#_Toc136463762)

[3.1. Enumeración de los agentes no académicos de la sociedad civil, gubernamental o empresarial interesados en el proyecto y declaración de sus intenciones de aprovechar los frutos del trabajo de investigación. 40](#_Toc136463763)

[3.2. Descripción de la participación de los interlocutores sociales en cada etapa del proyecto. 40](#_Toc136463764)

[4. PRESUPUESTO CONFORME AL ANEXO C, QUE INCLUYA: **¡Error! Marcador no definido.**](#_Toc136463765)

[4.1. Tabla de conceptos y costos **¡Error! Marcador no definido.**](#_Toc136463766)

[**4.1.1.** **Equipamiento:** **equipo de laboratorio o de campo, garantías, mantenimiento de laboratorio, consumibles, etc.** **¡Error! Marcador no definido.**](#_Toc136463767)

[**4.1.2.** **Pago por servicios especializados a terceros: se deberá cumplir con los requisitos establecidos por la Oficina de Personal de la Dirección de Administración y Finanzas y podrán abarcar hasta el 35% del presupuesto solicitado.** **¡Error! Marcador no definido.**](#_Toc136463768)

[**4.1.3.** **Viajes: hotel, transporte, viáticos, inscripciones, etc.** **¡Error! Marcador no definido.**](#_Toc136463769)

[4.1.4 **Varios: refrigerios reuniones, copias, gasolina, papelería, envíos, correspondencia, publicaciones (según las políticas y procedimientos vigentes), etc.** **¡Error! Marcador no definido.**](#_Toc136463770)

[4.2. Cronograma del ejercicio del presupuesto, de acuerdo con las fechas de inicio y finalización contempladas. **¡Error! Marcador no definido.**](#_Toc136463771)

[5. ADMINISTRACIÓN DE RIESGOS **¡Error! Marcador no definido.**](#_Toc136463772)

[5.1. Plan para evitar riesgos técnicos, financieros, de recursos humanos, de manejo de información y de datos personales, de impacto ambiental, de amenaza a la salud de seres vivos o de otra índole, ya sea durante la investigación o la implantación de los resultados. **¡Error! Marcador no definido.**](#_Toc136463773)

[5.2. Plan de mitigación de riesgos, en caso de no poder evitarse los riesgos mencionados. **¡Error! Marcador no definido.**](#_Toc136463774)

[6. DECLARACIÓN DE ADHESIÓN A LOS PRINCIPIOS ÉTICOS DEL ITESO CONTENIDOS EN LAS NORMATIVAS VIGENTES. 41](#_Toc136463775)

[7. ANEXOS **¡Error! Marcador no definido.**](#_Toc136463776)

[7.1. Cartas de interés de parte de profesores del ITESO, en las que se haga referencia precisa del nombre del proyecto de investigación; el nombre del coordinador; las horas de encargo semanales que prevén dedicar al proyecto; las fases en las que participarán y la descripción de sus actividades. **¡Error! Marcador no definido.**](#_Toc136463777)

[7.2. Cartas de interés de los investigadores de otras instituciones, en las que se haga referencia precisa del nombre proyecto de investigación; el nombre del coordinador; las horas semanales que prevén dedicar al proyecto; las fases en las que participarán y la descripción de sus actividades. **¡Error! Marcador no definido.**](#_Toc136463778)

[7.3. Cartas de interés de los interlocutores sociales, en las que se haga referencia precisa del nombre proyecto de investigación; el nombre del coordinador; las horas que prevén dedicar al proyecto; las fases en las que participarán; la descripción de sus actividades y su intención de aprovechar los resultados del proyecto. **¡Error! Marcador no definido.**](#_Toc136463779)

[7.4. Cartas de interés de los alumnos que participarán en el proyecto (en caso de que aplique), en las que se haga referencia precisa del nombre proyecto de investigación; el nombre del coordinador; las horas que prevén dedicar al proyecto; las fases en las que participarán y descripción de sus actividades. **¡Error! Marcador no definido.**](#_Toc136463780)

[7.5. Carta de los coordinadores de los PI involucrados en la propuesta, en la que se dé cuenta de la aportación que el proyecto hará a las líneas, objetos o problemas del PI. **¡Error! Marcador no definido.**](#_Toc136463781)

[7.6. Carta con el visto bueno del director de la dependencia de adscripción del investigador coordinador, en la que se avale la presentación de su proyecto en el marco de la convocatoria vigente y las horas de encargo semanales previstas para su realización. **¡Error! Marcador no definido.**](#_Toc136463782)

[7.7. Carta con el visto bueno del director de la dependencia de adscripción de cada investigador colaborador del ITESO, precisando las horas semanales de encargo que estima dedicar al proyecto, fases en las que participa y descripción de sus actividades. **¡Error! Marcador no definido.**](#_Toc136463783)

# INFORMACIÓN BÁSICA SOBRE EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

# Nombre del proyecto

**Desarrollo de nuevos productos alimenticios funcionales con ingredientes endémicos de México, utilizando inteligencia artificial (IA)**

# Categoría a la que corresponde el proyecto (debidamente justificada)

**Equipo de investigación en proceso de consolidación.** La responsable del proyecto, Raquel Zúñiga Rojas, cuenta con grado de doctor y producción científica y académica comparable a lo reportado por un investigador del SNI, nivel candidato. De igual manera, más de la mitad de los participantes (César Lozano Díaz, Xadeni Villegas Ruiz, Ileana Serrano Fraire, Laura Estela Arias Hernández y Felipe Sánchez Carrillo) en el proyecto cuentan con grado de doctor o maestro y con una producción científico-académica también comparable con lo solicitado a un investigador SNI nivel candidato. Además, el Ingeniero Daniel Hernández Mota, cuenta con experiencia profesional en el área de inteligencia artificial.

# Fechas de inicio y de término del proyecto

**Agosto 2023 - Julio 2024**

# Palabras clave

Aprendizaje automático, Inteligencia artificial, desarrollo de nuevos productos, enfermedades crónico-degenerativas, alimentos funcionales, ingredientes endémicos.

# Resumen

En México se desperdician alrededor de 28 millones de toneladas de alimentos al año. Según la SEDESOL, esta cantidad de alimento serviría para alimentar a 7 millones de mexicanos y disminuir la inseguridad alimentaria. La población en esta condición aunada a aquella con recursos, pero con una mala educación alimentaria, resulta en individuos con sobre peso u obesidad vulnerables a enfermedades crónico-degenerativas. La ingesta de alimentos funcionales y nutritivos podría prevenir estas enfermedades. Para aportar soluciones innovadoras, al alcance de todos, para esta problemática se requiere un enfoque interdisciplinario como el uso de la inteligencia artificial (IA) en la ingeniería de alimentos. Por lo tanto, el objetivo de este proyecto es aplicar técnicas de IA para el diseño de alimentos con beneficios para la salud, proporcionados por ingredientes endémicos de México con componentes bioactivos, a precios accesibles y sensorialmente acordes con las expectativas de los consumidores.

# Descripción del PI al que pertenece el investigador responsable, así como de los otros PI involucrados

El programa de investigación del Departamento (PI) de Procesos Tecnológicos e Industriales (DPTI) atiende problemas relacionados con los problemas nacionales como la Educación, Salud, Soberanía Alimentaria, Transición Energética y Gestión Ambiental. Tradicionalmente el departamento ha atendido proyectos relacionados con energía, alimentos y medio ambiente, así como desarrollo tecnológico en el área de ingeniería mecánica. El trabajo central de investigación en el DPTI es realizado por cada investigador junto con su grupo integrado por alumnos, que pueden adscribirse a sus proyectos mediante la realización de Proyectos de Aplicación Profesional (PAP) en licenciatura, Trabajos de Obtención de Grado (TOG) en posgrado, o mediante otra fórmula que resulte adecuada. Además de ser deseable la participación de más de un profesor de planta en cada proyecto, los investigadores deben participar con otros departamentos con el objeto de propiciar y realizar un trabajo en colaboración.

El programa de investigación del DPTI reconoce que es importante continuar con las colaboraciones que se han tenido en investigación con otros departamentos como el Departamento de Matemáticas y Física (DMAF) y el Departamento de Electrónica y Sistemas (DESI) para simplificar recursos y amplificar esfuerzos que contrarresten las problemáticas nacionales.

Por otra parte, la propuesta de PI del Departamento de Matemáticas y Física (DMAF) extiende la visión y las funciones del departamento para desarrollar investigación en ciencia y tecnología. La colaboración estrecha de las dos grandes áreas del DMAF, Matemáticas y Física, es la base técnica y científica fundamental de las ingenierías.

El programa de investigación busca contribuir al desarrollo del entorno social mediante la propuesta de modelos financieros cuantitativos que respondan a los mercados actuales. Además, se busca desarrollar materia prima de alto valor agregado y su manufactura en micro dispositivos que aporten a la mejora del sector salud, de las energías renovables, de la industria electrónica y a la generación de alta tecnología en la región. Para lograr estos objetivos, se analizan sistemas dinámicos por medio del modelado de estos y análisis matemático de sus propiedades. De esta manera, se dará solución a problemas de ingeniería abordándolos como problemas de optimización. También se desarrollarán materiales avanzados empleando técnicas de nanotecnología y se diseñarán dispositivos avanzados micro y nanoestructurados. Todo esto siempre acorde con las orientaciones de responsabilidad social que caracterizan a nuestra institución.

Además, se busca aportar en el área de la educación matemática mediante nuevos modelos educativos para la sociedad del conocimiento. Generando adaptaciones curriculares y desarrollos tecnológicos para mejorar la práctica educativa en el área de las matemáticas y su contextualización en la ingeniería

La propuesta del PI del Departamento de Electrónica, Sistemas e Informática (DESI) está orientada al desarrollo tecnológico relevante al entorno regional en el ámbito de la electrónica y las tecnologías de la información. Los problemas-objeto atendidos son: competitividad sustentable basada en la innovación tecnológica de alto valor agregado, competitividad basada en la administración de la tecnología y competitividad basada en la educación y la tecnología. Este proyecto se integra a la línea de generación y aplicación del conocimiento sobre gestión de la innovación y la tecnología, el cual, se refiere a la gestión e innovación en el uso de la tecnología de la información. Se aborda la implantación, asimilación y uso de las tecnologías de la información en empresas y organizaciones en todos sus niveles; se estudian los procesos de negocio y el impacto de la tecnología en la estrategia y desempeño organizacional. Analizamos y buscamos soluciones relacionadas con la estructura e impacto de los servicios tecnológicos, en las empresas y en la sociedad

# Descripción y antecedentes de la línea de investigación del PI en la que participa el proyecto.

Las líneas de investigación del PI en las que participa este proyecto corresponden a la de **Soberanía alimentaria** y a la de **Salud**. Para la primera, tal como se plantea en el documento del Programa de Investigación del DPTI, esta “*se basa en el derecho de los pueblos para acceder a alimentos nutritivos, culturalmente adecuados, accesibles y de manufactura sostenible y ecológica.*” De acuerdo con el PI, entre los problemas que se deben atender a nivel nacional para lograr la soberanía alimentaria se encuentra el concerniente a la **Formulación de alimentos con baja calidad nutricional.** Por otra parte, en la línea de Salud el PI establece el **Desarrollo de alimentos funcionales** como parte de ésta. De esta manera, el presente proyecto se encuadra perfectamente en estas dos líneas y además se encuadra de manera perfecta en el Objetivo general del programa de investigación del DPTI que es ***“Atender los problemas nacionales por medio de los conceptos teóricos y prácticos de la ingeniería para fomentar la innovación y el desarrollo tecnológico al servicio de la sociedad”***

Algunos de los proyectos que se han realizado en estas líneas de investigación, son los siguientes:

* Mejora de la salud ocupacional por decremento de enfermedades generales mediante la implementación de alimentos funcionales en comedores industriales. Fondos CONACYT
* Biorreactor para la producción de probióticos de los géneros *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* por lote alimentado. Fondos CONACYT
* Diseño e Implementación de nuevas tecnologías renovables en el cultivo y reservación del charal (*Chirostoma sp*) y el camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*). Fondos CONACYT
* Ingredientes a base de algas para una alimentación humana y animal con un valor nutricional mejorado. Fondos CONACYT

En la línea de investigación de los alimentos, no solo han participado profesores de esta área, sino que han colaborado profesores de otras disciplinas tanto del mismo departamento como de otros departamentos y hasta investigadores de universidades extranjeras. En varios de los proyectos mencionados anteriormente, han trabajado parte de los investigadores que conformarán el presente proyecto y al cual se unirán integrantes de otros departamentos como el DMAF y el DESI, así como alumnos de licenciatura de diferentes disciplinas y de posgrado. Por lo tanto, el grupo base de investigadores no ha formado un grupo de investigación como tal y lo ha consolidado, sino que se adapta a las necesidades de la investigación que esté desarrollando y actualmente trata de abordar la soberanía alimentaria y la salud con nuevas técnicas como la inteligencia artificial.

# Descripción y antecedentes de la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento (LGAC) del o los programas de posgrado a las que aporta el proyecto.

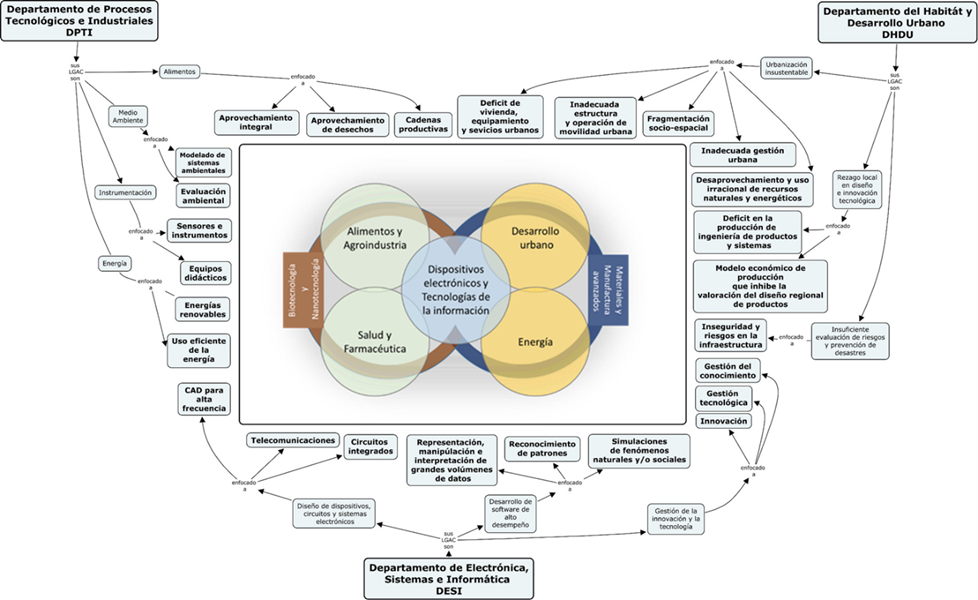
Los programas de Maestría y Licenciatura en Ciencia de Datos del ITESO adscritos al departamento de matemáticas y física (DMAF), propician en sus estudiantes una sólida formación académica y práctica en el desarrollo de modelos matemáticos para el análisis y resolución de problemas en diversas áreas, promoviendo habilidades y competencias para la investigación y generación de nuevos conocimientos, mediante el desarrollo de habilidades en modelación matemática, estadística, programación, visualización de datos y metodologías de análisis avanzadas.

Tanto la maestría como en la licenciatura se enfocan en la identificación de comportamientos, tendencias y simulación de procesos, mediante el análisis de datos y métodos de inteligencia artificial en proyectos de investigación y aplicaciones prácticas en colaboración con empresas e instituciones.

Ambos programas buscan que los estudiantes adquieran habilidades y competencias necesarias para utilizar herramientas de ciencia de datos con el fin de recolectar, limpiar, procesar y analizar grandes volúmenes de datos para obtener información relevante y útil, para así optimizar el desempeño de los algoritmos de machine learning y pronosticar resultados en situaciones reales. Es por ello por lo que el presente proyecto proporciona un escenario ideal de aplicación inmediata en el entorno de la reingeniería de alimentos e impacto social, proporcionándoles a los estudiantes la oportunidad de aplicar sus conocimientos adquiridos mediante la interpretación de los resultados a partir de los modelos obtenidos para contrastarlos con la realidad tomado decisiones bien fundamentadas.

La aplicación del conocimiento tiene como antecedente la creciente demanda de profesionales altamente capacitados en el análisis de datos y la resolución de problemas complejos, en un entorno donde la explosión de datos en diferentes sectores y la necesidad de tomar decisiones informadas basadas es evidencias son fundamentales.

En lo que respecta a la ***Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento de la maestría en Ingeniería de Productos y Procesos*** del DPTI a la que aporta el proyecto, ésta deriva de los Programas de Investigación (PI) antes Programase Formales de Investigación (PFI) de los 4 departamentos involucrados en este posgrado (Departamento del Hábitat y Desarrollo Urbano, DHDU; Departamento de Electrónica, Sistemas e Informática, DESI; Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales, DPTI; y Departamento de Matemáticas y Física, DMAF. La imagen 1, tomada del Anexo 1 del plan de estudios 2017 de la maestría, presenta las líneas y objetos departamentales sobre los campos y temas de oportunidad para la formación de ingenieros.



**Imagen 1.**  “Cobertura de los campos y temas de oportunidad para la formación de ingenieros a partir de las líneas y objetos de los departamentos involucrados” fuente: Plan de estudios 2017 Anexo 1. Maestría en Ingeniería de Productos y Procesos.

Como se puede apreciar en la imagen anterior, la línea de Alimentos y Agroindustria se traslapa con la de Salud y Farmacéutica, así como con la de Tecnologías de la Información la cual engloba la “Representación, manipulación e interpretación de grandes volúmenes de datos”, “El reconocimiento de patrones” y la “Simulación de fenómenos naturales”. El eje de la LGAC al que más aporta este proyecto es al de **Ingeniería de la innovación de producto,** el cual “*tiene el propósito de formar profesionales que sean capaces de resolver problemas inherentes al diseño del concepto del producto, desarrollo de sus componentes y partes químicas, mecánicas, electrónicas y de software, selección de materiales, y la transición desde la etapa de prototipo hasta la fabricación del producto*.”

En el documento Anexo 1, se explica que la ingeniería de producto integra actividades referentes a la optimización del costo de producción, la facilidad de fabricación, la calidad, la funcionalidad, la confiabilidad, entre otras.

Los ámbitos problema de este eje se especifican en la tabla 1. Como se puede observar en ella, este proyecto aporta al primer ámbito problema Diseño de producto orientado por el nivel de desempeño del producto.

**Tabla 1.** Ámbitos problema del eje de ingeniería para la innovación de producto

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Ámbito problema* | *Necesidades típicas del problema* | *Entregables tipo* |
| Diseño de producto orientado por el nivel de desempeño del producto | Descomposición del producto  Desempeño en requerimientos funcionales  Uso y desempeño de materiales  Eficiencia de fabricación y/o producción  Elementos clave de diseño | Desarrollo de nuevos productos  Innovación y desarrollo de nuevos productos o servicios  Desarrollo experimental  Prototipo experimental a nivel pre-comercial  Sistemas de innovación de producto  Diseño y escalamiento en Planta Piloto  Planes avanzados de productos  Desarrollo de moléculas y fármacos Desarrollo y mejora de productos alimenticios o complementarios a la nutrición |
| Diseño de producto orientado por el cliente | Atractividad  Apariencia  Mejoras en desempeño  Ajuste a requisitos del cliente  Conservación, durabilidad o ciclo de vida |
| Diseño de producto orientado por los costos | Costos para competir en el mercado  Costos que aún generan beneficios  Costos adecuados a la durabilidad y ciclo de vida |
| Diseño de producto orientado por la manufactura, producción o sistema constructivo | Baja inversión para producir  Facilidad para producir  Facilidad para el mantenimiento de los procesos  Facilidad para construir |

Fuente: Plan de estudios 2017 Anexo 1. Maestría en Ingeniería de Productos y Procesos.

# Currículum Vitae del investigador coordinador, departamento o centro de adscripción, y horas semanales de encargo asignadas para actividades de investigación.

Responsable del proyecto

Raquel Zúñiga Rojas- Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales

Doctora y Maestra en Biotecnología e Industrias Alimentarias, por la Gran Escuela Nacional Superior de Agronomía e Industrias Alimentarias ENSAIA, en Nancy Francia a finales de los años 90s (1994 – 1999). Especialidad en mejora de procesos de negocios por parte del ITESO. Ingeniera en Industrias Alimentarias por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey campus Monterrey.

Desarrollo profesional llevado a cabo tanto en la industria como en centros de investigación de CONACYT (CIATEJ) así como en la universidad ITESO (en esta última por más de 17 años, 12 de los cuales como coordinadora del programa de Ingeniaría de Alimentos, 4 años Coordinadora de Proyectos de Aplicación Profesional y 3 años Coordinadora de una Unidad Académica Básica, así como por 2 años, parte de la Comisión de investigación perteneciente a la Dirección General Académica).

El trabajo se ha centrado por más de 25 años en la creación de alimentos funcionales en beneficio de la prevención de enfermedades crónico-degenerativas y gastrointestinales; buscando que estos sean accesibles para la población más desfavorecida económicamente y que también contribuyan a fomentar una adecuada educación alimentaria.

Participación en más de 20 proyectos científicos y tecnológicos nacionales e internacionales con la agroindustria la han llevado a trabajar en equipo y formar redes de colaboración conectando con expertos científicos, tecnólogos y jóvenes a nivel licenciatura y posgrado para apoyar a micro, pequeñas y medianas empresas, así como transnacionales.

En cuanto a la docencia, colaboración con profesores y alumnos de diferentes países como Canadá, Alemania, Argentina, Brasil y España.

Participación en consejos y asociaciones relacionadas con la enseñanza superior y con el sector alimentario. Evaluadora y miembro de la Comisión técnica de bioingeniería del Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería A.C. (CACEI) desde 2007 a la fecha. De igual manera, miembro del Consejo técnico del examen general para el egreso de la Licenciatura en Ingeniería en Alimentos (EGEL- IALI) del Centro Nacional de Evaluación para la Educación Superior, A.C. (CENEVAL), miembro del Institute of Food Technologists (IFT) y miembro de la Asociación Mexicana de Ciencia de los Alimentos A.C. (AMECA).

La Dra. Raquel Zúñiga, responsable del proyecto le dedicará un 25% del total de su Encargo 20223-2024 lo que corresponde a 446 horas.



# Currículum Vitae de los investigadores colaboradores del ITESO, departamentos o centros de adscripción, y horas semanales de encargo asignadas para actividades de investigación (en caso de que participen).

1. Dr. César Lozano Díaz - Departamento de Matemáticas y Física

Doctor en Tecnologías de la información con orientación en análisis de sistemas, diseño y simulación, Maestro en Tecnologías para el Aprendizaje y Licenciado en Matemáticas, cuenta con certificaciones en Innovación y educación abierta por el Justice Institute of British Columbia

Profesor de tiempo completo de en el Departamento de Matemáticas y Física DMAF de ITESO, donde es coordinador de los programas de aplicación PAP del departamento, es coordinador de las materias de cálculo integral, métodos numéricos y algoritmos de solución numérica, es docente de las materias de Métodos de inteligencia Artificial, Cálculo Diferencial, Cálculo integral, Ecuaciones diferenciales, Algebra lineal.

Es encardo del programa formal de investigación de educación matemática en el DMAF, trabaja en proyectos de investigación de desarrollo de modelos educativos de enseñanza aprendizaje con tecnologías emergentes para promover competencias matemáticas en estudiantes y profesores.

Trabajo en Texas Instruments en el diseño y programación de actividades para la enseñanza aprendizaje de las ciencias y capacitación docente a nivel Latinoamérica. Es miembro de la red Contigo T3 Latinoamérica de Texas Instruments.

El Dr. César Lozano le dedicará un 10% del total de su Encargo 20223-2024 lo que corresponde a 178.4 horas.

1. Dra. Ileana Serrano Fraire - Departamento de Electrónica, Sistemas e Informática

Lic. Química Farmacobióloga (2005) y maestra en Generación y Gestión de la Innovación por la Universidad de Guadalajara (2015), doctora Cum laude en Ciencias Sociales: Desarrollo Sustentable y Globalización por la Universidad Autónoma de Baja California Sur (2023), su enfoque de investigación es en los aspectos de propiedad intelectual y de transferencia de tecnología en el uso de recursos genéticos y conocimientos tradicionales en México conforme al Protocolo de Nagoya, inteligencia artificial y minería de patentes, y el establecimiento de políticas de propiedad intelectual, gestión de tecnología e innovación. Desde 2015 forma parte del directorio de consultores expertos de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) en áreas de recursos genético y conocimientos tradicionales, propiedad intelectual y economía, diseños industriales, propiedad industrial y patentes. Profesora de tiempo completo en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO), en donde se encuentra a cargo de la Oficina de Transferencia de Tecnología y el Centro de Patentamiento. Cuenta con 17 años de experiencia trabajando activamente en la gestión de innovación, registro de propiedad intelectual, desarrollo farmacéutico, transferencia de tecnología e innovación en el sector privado (industria farmacéutica) y público (en CIBNOR, Centro de Investigación de Conacyt, localizado en la Paz, BCS) en áreas farmacéutica, química, biotecnología y áreas transversales de mecánica y electrónica.

La Dra. Ileana Serrano le dedicará un 8% del total de su Encargo 20223-2024 lo que corresponde a 142.7 horas.

1. M. en C. Laura Arias Hernández - Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales

Maestra en Nutrición y Biotecnología Alimentaria por la Universidad de Jaén, España (2013) con Especialidad en Mejora de Procesos de Negocios por el ITESO (2016) y formación como Químico Farmacéutico Biólogo en Tecnología de Alimentos (1994). Tiene 30 años participando en la innovación y desarrollo de nuevos productos para la industria alimentaria del occidente del país, con amplia experiencia en las regulaciones para el etiquetado nacional e internacional, incidiendo en la elaboración y modificaciones a Normas Oficiales Mexicanas de productos lácteos y bebidas alcohólicas.

Su experiencia docente a nivel licenciatura inició en el 2005, incorporándose en 2008 al ITESO como profesora de asignatura y en 2013 de tiempo fijo, impartiendo asignaturas de saberes profesionales del programa de Ingeniería de Alimentos, asesorando Proyectos de Aplicación Profesional y participando en diferentes proyectos con fondos CONACYT (2010-2016). Fue responsable de los laboratorios del DPTI y de Ingeniería de Alimentos, teniendo conocimiento del uso y manejo de la mayor parte de los equipos de proceso y de análisis en el área, adquiriendo formación permanente en la seguridad para el trabajo en laboratorios. Es coordinadora de la Licenciatura en Ingeniería de Alimentos desde julio de 2021.

Ha sido miembro de asociaciones profesionales nacionales e internacionales del área de alimentos y la educación, perteneciendo actualmente al Institute of Food Technologists, a la Asociación Mexicana de Ciencias de los Alimentos y a la Delta Kappa Gamma International Society, con asistencia constante a congresos como ponente de trabajos de investigación.

La M. en C. Laura Arias le dedicará un 10% del total de su Encargo 20223-2024 lo que corresponde a 178.4 horas.

1. Dra. Xadeni Villegas Ruiz - Profesor de asignatura

Ingeniero en Alimentos por parte de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, con Maestría en Ciencias en Ingeniería Bioquímica por el Instituto Tecnológico de Veracruz y Doctorado en Ciencia de Alimentos por la Universidad de las Américas Puebla. Cuenta con la experiencia de conducir estudios de Evaluación Sensorial por más de 15 años, generando información y análisis para el desarrollo de productos, conocimiento de consumidor, vidas de anaquel y calidad sensorial, además de soporte a proyectos de productividad y mejora continua permitiendo así dar apoyo a áreas como calidad, ingeniería, empaques y marketing en la industria de alimentos; ha implementado metodologías sensoriales en la industria, docencia e investigación, su trayectoria profesional abarca empresas como Givaudan, Grupo Lala y Hershey de México, siendo en estas dos últimas la líder del área de evaluación sensorial dentro del departamento de Investigación y Desarrollo, además ha colaborado dentro de universidades de alto prestigio como la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y actualmente el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO) dentro de la carrera de Ingeniería en Alimentos impartiendo el curso de análisis sensorial, laboratorio de Bromatología, Taller de Conservación de Alimentos y Programas de Aplicación Profesional; cuenta con publicaciones en revistas científicas indexadas y presentación en congresos nacionales e internacionales, actualmente es consultor independiente, cuya responsabilidad radica en la guía a empresas para el conocimiento y explotación de la herramienta de análisis sensorial imprescindible en la industria de alimentos.

El tiempo que le dedicará la Dra. Xadeni Villegas al proyecto será de 85 horas.

1. M. en C. Felipe Sánchez Carrillo - Profesor de asignatura

Ingeniero de Alimentos por parte del ITESO (2012) y Maestría en Ingeniería Agroalimentaria por parte de la Universidad Laval (Québec, 2015). Profesor de asignatura de Alimentos Funcionales de Origen Vegetal, en donde se analizan distintos procesos de producción de alimentos de origen vegetal, costeo, uso de distintas tecnologías, así como la funcionalidad de los productos, Escalamiento de procesos alimentario y de taller práctico de Tecnología y Procesamiento de Cárnicos, Operaciones Unitarias en Alimentos y Cinética Química y Biológica, en la Facultad de Ingeniería de Alimentos del Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales. Asesor PAP en proyectos como la construcción de una plataforma de biorrefinería para aprovechar los residuos de la industria quesera y cervecera de Jalisco, transformándolas en productos de alto valor, mejora de procesos dentro de la industria regional en varias empresas. Fue asesor de TOG de Román Aldrete Olvera, quién trabajó en un modelo de inteligencia artificial para optimizar los procesos de transformación de arándano cosechado en la región Valles. Ha trabajado en proyectos de investigación de mejora de procesos de frutas y hortalizas como el CIATEJ donde se diseñó una planta de procesamiento de pulpas para darle valor a los alimentos rescatados por los bancos de alimentos y con los CITEs (Centro de Innovación y Transferencia Tecnológica Agroindustrial) de las regiones de VRAEM y Oxapampa en Perú como experto en industrias alimentarias en donde se analizó la oferta de servicios y se recomendó equipos para que los CITEs den servicio a los pequeños productores de café, cacao y otras frutas. También ha colaborado en industrias de procesamiento de alimentos como Mars México, Empresas Vilher.

El tiempo que le dedicará al proyecto el M. en C. Felipe Sánchez será de 100 horas.

1. Ing. Daniel Hernández Mota - Egresado, externo.

Tres años como científico de datos en Kueski aplicando, monitoreando y supervisando modelos de IA orientados a la detección temprana de fraude. También 3 años siendo mentor de varias ediciones tanto de Guadalajara como de Latinoamérica en la organización SaturdaysAi con el objetivo de enseñar y aplicar IA a través de la generación de proyectos con impacto social. Participante en distintos concursos de distintas índoles en la aplicación de proyectos sociales incorporando modelaje con mecanismos de aprendizaje automático e IA tales como Social Data Challenge, Covid’s Impact, Vive ConCiencia, organizados por Data-Lab, Secretaría de Economía y el Foro Consultivo Científico y Tecnológico respectivamente, entre algunos otros.

El Ing. Daniel Hernández le estará dedicando un total de 120 horas al proyecto.

# Currículum Vitae de los investigadores externos, adscripción, y horas semanales que dedicarán al proyecto (en caso de que participen).

1. Dr. Héctor Ruiz Espinoza

Ingeniero en Alimentos (UDLAP), Maestro en Ciencia y Tecnología de Alimentos, (Ohio State); Doctor en Ciencia de Alimentos (Tecnológico Nacional). Ex Becario Jenkins, CONACYT y Fulbright, Profesor Investigador Titular (2003-) y Coordinador (2004-2009, 2013- ) del Colegio de Ingeniería en Alimentos en BUAP y profesor visitante en CIBA-IPN. Miembro del SNI (Nivel 1), del CA Consolidado BUAPCA- 176, Perfil Deseable PROMEP y de los núcleos básicos de posgrado en Ingeniería Química y en Ciencia y Tecnología Alimentaria en la BUAP. Coautor de 40 artículos indizados, de 5 capítulos de libro y 1 patente, asesor de 40 tesis de grado, con 85 trabajos presentados en congresos académicos. Su línea de investigación es el uso de tecnologías no térmicas (alta presión hidrostática, ultrasonido de alta intensidad, homogeneización a alta presión) en procesos alimentarios, con énfasis en aplicaciones en productos lácteos.

El Dr. Héctor Ruiz estará dedicando un total de 80 horas al proyecto.

# Estudiantes de posgrado o licenciatura participantes en el proyecto. Nombre completo y programa educativo de adscripción.

Por el momento se cuenta con la confirmación de la participación del alumno de Ingeniería de Alimentos Samuel Peña Guzman exp. 725505 y de la alumna de la maestría en Ingeniería de Productos y Procesos Anna Paula Felix Amante. Además, se contará con el apoyo de un alumno de la maestría de Ciencia de Datos que ingrese a este posgrado en O2023. Por otro lado, a través del Proyecto de Aplicación Profesional (PAP) 4G03 del Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales (DPTI), se pretende contar con la participación de estudiantes de licenciatura de las carreras de Ciencia de Datos y de Ingeniería de Alimentos, así como de otras carreras como Nutrición y Ciencia de los Alimentos, Ingeniería de Química y de Ingeniería en Sistemas Computacionales.

# DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO EN EXTENSO

# Objetivos (general y específicos)

El objetivo general es desarrollar nuevos productos alimenticios a un costo accesible, con componentes bioactivos beneficiosos para la salud proporcionados por ingredientes endémicos de México, a través del uso de herramientas de inteligencia artificial.

Partiendo de esto, obtenemos los siguientes objetivos específicos.

1. Obtención y unificación de bases de datos, obtenida por datos experimentales, artículos científicos, páginas de internet o bases de datos complementarias que brinden información relevante de productos alimenticios.
2. Limpieza y normalización de la base de datos que contiene información de las características fisicoquímicas de harinas de trigo y pan de caja.
3. Análisis de modelos de inteligencia artificial que pueda identificar la similitud entre dos productos alimenticios basándose en distintas variables relacionadas con estos productos y utilizando como mínimo la lista de ingredientes.
4. Entrenamiento de algoritmos de inteligencia artificial que sugiera distintas propuestas para el desarrollo de nuevos productos alimenticios con las características deseadas.
5. Desarrollo y caracterización fisicoquímica y sensorial de las nuevas formulaciones de alimentos arrojadas por los algoritmos a partir del objetivo anterior.
6. Formalización de Consentimiento Fundamentado Previo y Condiciones Mutuamente Acordadas en el marco del Protocolo de Nagoya con comunidades poseedoras de conocimientos tradicionales y/o ancestrales de los ingredientes endémicos seleccionados para trámite de acceso a recursos genéticos en la SEMARNAT.
7. Propuesta de diseño del alimento funcional con algún ingrediente o componente bioactivos beneficiosos para la salud y a costo accesible, utilizando el algoritmo desarrollado y entrenado a lo largo de este proyecto.
8. Definición de la estrategia de protección de la propiedad intelectual, búsquedas del estado de la técnica para definir la patentabilidad y libertad de operación, estrategia de comercialización del proyecto a nivel nacional e internacional.

# Problema(s) de investigación (incluye en su planteamiento, la argumentación sobre su relación con las problemáticas planteadas en la presente convocatoria y la descripción sobre su construcción interdisciplinar).

En México se desperdician alrededor de 28 millones de toneladas de alimentos al año; para 2019 hubo un desperdicio per cápita de, 16 kg de alimentos de venta al por menor, 28 kg de alimentos por consumo fuera del hogar y de 94 kg de alimentos consumidos en el hogar (Imagen 2). Entre los países comparados en la imagen 2, México ocupa el 3er lugar solo después de Nigeria y Estados Unidos. Cabe mencionar que el mayor desperdicio se presenta en los alimentos consumidos en el hogar, quedando también en 3er lugar después de Nigeria y Australia. Mientras que en México se desperdiciaron en 2019 94 kg de alimentos consumidos en el hogar por habitante, en Argentina, Brasil, Chile y Colombia, este valor fue igual o estuvo por debajo del promedio mundial (74 kg/persona). De acuerdo con la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), la cantidad de alimento desperdiciado en México serviría para alimentar a más de 7 millones de mexicanos y disminuir la inseguridad alimentaria.

Un indicador de pobreza en México desde hace más de una década ha sido la inseguridad alimentaria dentro de los hogares pues permite identificar a los grupos de la población que presentan carencia en el cumplimiento de sus derechos sociales, entre ellos la alimentación. De acuerdo con la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) 2018-2019, en México la prevalencia de inseguridad alimentaria (Imagen 3) fue de 55.5% en total, presentado la población un porcentaje de 32.8% en inseguridad leve, 14.1% en inseguridad moderada y 8.6% en inseguridad severa, es decir 18 352 241 hogares con algún grado de inseguridad alimentaria, de los cuales una mayor proporción de hogares se encontraron en localidades rurales (69.7%: 40.6% en inseguridad leve, 17.8% en moderada y 11.3% en severa) con respecto a los hogares urbanos (51.1%: 30.4% en inseguridad leve, 13.0% en moderada y 7.7% en severa).

Gráfico

Descripción generada automáticamente

**Imagen 2.** Desperdicio de alimentos per cápita, medido en kilogramos: venta al por menor, consumo fuera del hogar y consumo en el hogar.

La mayoría de los hogares en inseguridad alimentaria se ubicó en las regiones Sur (68.4%) y Centro (52.8%) del país. Asimismo, la proporción más grande de hogares en las formas más graves de inseguridad alimentaria (moderada y severa) se encuentran en dichas regiones del país (29.3% en la región Sur y 21.5% en la región Centro).

Tabla

Descripción generada automáticamente

**Imagen 3.** Proporción de hogares en las categorías de seguridad o inseguridad alimentaria, por tipo de localidad en México (ENSANUT 2018-2019).

La inseguridad alimentaria, no solo está relacionada con un acceso limitado a los alimentos, sino también con un poder adquisitivo bajo por parte de la población para la adquisición de alimentos nutritivos. Este porcentaje de la población cuyo ingreso no le permite consumir alimentos saludables, aunado a aquellas personas que tienen el poder de compra, pero una mala educación alimentaria (en la región Norte de México se destina una mayor proporción de gasto a la compra de alimentos no sanos, mientras que en la región Sur se destina una mayor proporción a alimentos saludables, ENSANUT 2018-2019) da como resultado una población vulnerable en cuanto a salud se refiere. Es importante remarcar que gran parte de la población clasifica a los alimentos industrializados dentro de la categoría de alimentos no saludables pues los asocia con el incremento en las prevalencias de sobrepeso y obesidad. En México el porcentaje nacional de personas con sobrepeso (39.5%) u obesidad (35.3%) es más alto que el promedio mundial (ENSANUT 2018-2019). Estas dos condiciones generan en la población la presencia de enfermedades crónico-degenerativas como la hipertensión arterial (en la república mexicana a mayor edad de los individuos, la prevalencia de hipertensión incrementa siendo más frecuente en los hombres que en las mujeres) y diabetes mellitus (la Federación Internacional de Diabetes predice que, en México, habrá nueve millones de personas con diabetes para el 2025), elevando el riego de mortalidad en los habitantes que las padecen (ENSANUT, 2018).

De acuerdo con el Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco (IIEG), en el 2021 la obesidad, la hipertensión arterial y la diabetes mellitus tipo II ocuparon el 7mo, 8avo y 10mo lugar de muertes, respectivamente, en el estado de Jalisco solo porque las enfermedades respiratorias agudas, el COVID y los padecimientos agudos derivados de éste, fueron los primeros lugares (Imagen 4).

Gráfico, Gráfico de barras

Descripción generada automáticamente con confianza media

**Imagen 4.** Veinte principales causas de enfermedad en Jalisco durante el 2021. Fuente <https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2023/03/EnfermedadesJalisco2021.pdf>

Datos del INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) reportados por el IIEG, entre 2019 y 2021, la tercera causa de mortalidad entre los habitantes del estado de Jalisco fue la diabetes mellitus (Imagen 5). En el 2021 el 78.7% (5,528) de los habitantes del estado fallecidos por esta causa, fueron adultos mayores de 60 años y más; el 17.4% (1,220) estaban en un rango de edad entre 45 y 59 años y el 3.4% (239) entre 30 a 44. Cabe resaltar que, para ese año, la diabetes cobró la vida de 4 niños de entre 0 y 14 años (0.06%) y la de 37 jóvenes de entre 15 y 29 años (0.5%) (Imagen 6).

Tabla

Descripción generada automáticamente

**Imagen 5.** Principales causas de mortalidad por residencia habitual y sexo de la persona fallecida en Jalisco entre el 2019 y 2021. Fuente: <https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2022/11/D%C3%ADaMundialDiabetes2022.pdf>

Las estadísticas para el 2021 mostraron que hubo mayor número de muertes de hombres que de mujeres para esta enfermedad, por grupos de edad: en el grupo de 15 a 29 años murieron por diabetes 24 hombres y 13 mujeres y en el de 30 a 44 años, fueron 138 hombres y 101 mujeres; para el grupo de entre los 45 y 59 años, fallecieron 712 hombres y 508 mujeres y entre las personas adultas de 60 años y más, murieron 2 mil 821 hombres y 2 mil 707 mujeres por causa de la diabetes mellitus.

Gráfico, Gráfico circular

Descripción generada automáticamente

**Imagen 6.** Defunciones por diabetes mellitus por residencia habitual en el estado de Jalisco de la persona fallecida según grupos de edad, en el 2021. Fuente: https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2022/11/D%C3%ADaMundialDiabetes2022.pdf

Claramente la población mexicana necesita una mejor educación alimentaria para prevenir las enfermedades crónico-degenerativas, pero también necesita mejores estrategias para disminuir la inseguridad alimentaria y el desperdicio de alimentos. Uno de los aspectos que ha contribuido a mantener estas problemáticas nacionales es el diseño y procesamiento de alimentos que no satisfacen todas las necesidades del consumidor meta, no solo en cuanto a sus características sensoriales, sino también en cuanto a ingredientes saludables, sustentables, de bajo costo y cero desperdicio; se requiere un cambio en la producción de alimentos que permita romper el círculo vicioso entre estos desafíos pues la afectación económica normalmente se traslada al consumidor quien recae en la insuficiencia de poder adquisitivo para alimentarse y cuidar de su salud, generando nuevamente inseguridad alimentaria y por ende enfermedades. Por lo tanto, es necesario un enfoque interdisciplinario para aportar soluciones innovadoras a estas grandes problemáticas que aquejan al mundo y en particular a México.

# Antecedentes en el campo científico

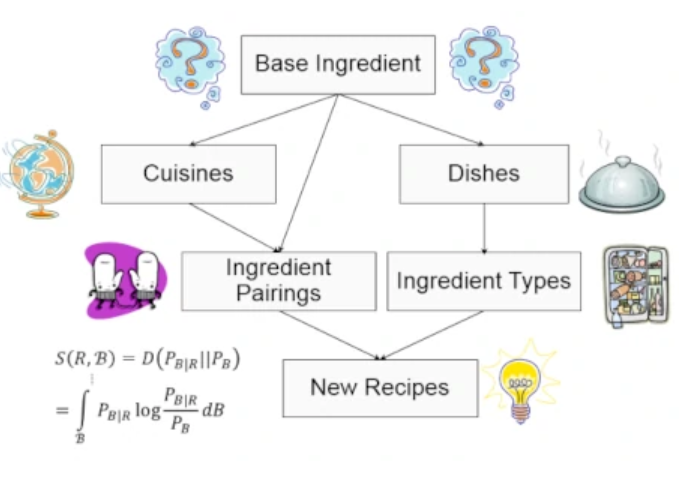
**Aplicación de la Inteligencia Artificial en el sector alimentario**

En muchas áreas del conocimiento la inteligencia artificial está comenzando a tomar relevancia para poder llevar a cabo desarrollos basados en datos. El aprendizaje automático o Machine Learning (ML) provee herramientas para poder representar la realidad realizando un conjunto de predicciones dado un contexto determinado (Negro, 2021). Esto se puede usar con distintos fines, y en este caso es de interés la aplicación en un área específica como lo es la ingeniería de alimentos. Por ejemplo, se han utilizado técnicas de modelado empleadas para el desarrollo de síntesis de procesos para productos estructurados de comida (Meeuse, 2007), también se han aplicado estas herramientas para diseñar propiedades deseadas de un producto como la mayonesa (Dubbleboer, *et al*., 2015); asimismo, otro caso es el uso de un modelo híbrido entre inteligencia artificial y modelado mecanístico para la creación de una galleta (Xiang, *et al.*, 2019). Por lo tanto, la inteligencia artificial está proveyendo de nuevas oportunidades para crear alimentos más nutritivos y accesibles para toda la población, incluso, está mejorando sus características sensoriales y está tratando de atacar el desperdicio de alimentos. Empresas como Hoow Foods (Imagen 7) presente en Singapur o la misma IBM a través de su programa “Chef Watson” (Imagen 8), se encuentran desarrollando alimentos más nutritivos y agradables al paladar, utilizando para ello inteligencia artificial.

Diagrama

Descripción generada automáticamente

**Imagen 7.** Diagrama de desarrollo de un nuevo producto de la empresa Hoow Foods utilizando inteligencia artificial. Fuente: https://hoowfoods.com/technology/.



**Imagen 8.** Diagrama de desarrollo de nuevas recetas utilizando el programa computacional de IBM denominado “Chef Watson”.

En la mayoría de los casos, los productos alimenticios se diseñan basados en la experiencia y conocimiento. Sin embargo, estas técnicas convencionales tienen sus límites. Por lo que, con la información necesaria disponible, es posible delegar este aprendizaje, y por ende cierto componente de la tarea de desarrollo y diseño de productos, a un algoritmo de inteligencia artificial. Los algoritmos de aprendizaje automático pueden ser una opción ideal para el diseño de productos ya que son buenos para encontrar patrones complejos dentro de una gran cantidad de datos, además se pueden obtener procedimientos eficientes y menos sesgados removiendo el conocimiento o la experiencia personal (Nozaki, *et al.,* 2017).

Generalmente, para hacer uso del aprendizaje automático, se tienden a utilizar modelos supervisados. El objetivo de estos modelos es realizar una predicción de un valor deseado a través del ajuste (o entrenamiento) del mismo utilizando un conjunto de datos de entrenamiento, con su respectiva variable de respuesta (Müller, *et al.*, 2016). Muchas veces a los modelos se les nombra como una “caja negra”, por lo que cualquier algoritmo que cumpla con este objetivo se puede utilizar y usualmente depende de varios factores, como la experiencia de los usuarios con los modelos, la cantidad de datos, el tipo de datos proporcionados (tabulares, sensoriales, etc.), y la flexibilidad/complejidad del modelo (Shwartz y Armon, 2021). Algunos de los algoritmos que usualmente se utilizan son algoritmos de regresión o clasificación tales como: regresión lineal, regresión logística, k-vecinos cercanos, máquinas de soporte vectorial, redes neuronales, bosque aleatorio, aumento de gradiente basado en árboles, entre algunos otros.

La incorporación de la inteligencia artificial en la industria de alimentos se encuentra en constante exploración, con la finalidad de optimizar, clasificar y predecir procesos que permitan mejorar la implementación en sistemas de monitoreo, control de calidad, optimización de los procesos de producción, monitoreo y control del almacenamiento de alimentos hasta la producción de nuevos alimentos, siendo este último el que mayor interés despierta la reingeniería de alimentos, la identificación de nuevos ingredientes y la optimización de formulaciones de estos (Wang *et al.,* 2022).

Según Picharra *et al.,* (2020) las redes neuronales juegan un papel fundamental en la generación nuevos productos alimenticios sintéticos, las técnicas de aprendizaje automático permiten crear modelos que pueden aprender de los datos existentes y generar nuevos productos basados en grandes cantidades de información y las metaheurísticas para optimizar la formulación estos.

Los métodos de inteligencia artificial usados en las aplicaciones van desde el uso de heurísticas, redes neuronales y visión por computadora (Tabla 2). Estos métodos incluyen redes neuronales para la estimación de eficiencia en la extracción de aceites esenciales y la modelización del tratamiento térmico (Garcia*,* 2019); la clasificación de ingredientes y la detección de la descomposición del producto durante el almacenamiento (Zhu *et al.,* 2020); la metaheurística para la optimización de trazabilidad (Zapata-Cortes 2020); el análisis espectral para la caracterización de alimentos (Buzura *et al.,* 2021); el machine learning para la generación y validación de métricas (Balestier *et al.,* 2021); y la visión por computadora para la segmentación de alimentos (Dong *et al.,* 2021). Cada uno de estos métodos puede mejorar la eficiencia, calidad y seguridad en la producción de alimentos.

**Tabla 2.** Aplicaciones de la inteligencia artificial en el campo de alimentos.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Año | Descripción de la aplicación | Método | Aplicación | Autores |
| 2021 | Sistema portátil de caracterización de alimentos basado en análisis espectral | Análisis espectral | Caracterización de alimentos | Buzura, L. *et al.* |
| 2021 | Generación y validación de una métrica para la inseguridad alimentaria basada en aprendizaje automático de regresión | Aprendizaje automático de regresión | Medición de la inseguridad alimentaria | Balestier, M. *et al.* |
| 2021 | Red neuronal convolucional para la detección inteligente de la descomposición de alimentos en el almacenamiento comercial | Redes neuronales convolucionales | Detección de descomposición de alimentos | Paul, R. *et al.* |
| 2021 | Red neuronal para la estimación de la eficiencia productiva en la extracción de aceite esencial a partir de cáscara de naranja | Redes neuronales | Estimación de la eficiencia productiva | Freire Castro, A.J. y Mejía Garzón, M.I. |
| 2021 | Sistema de recomendación de dietas personalizadas mediante técnicas de minería de datos y aprendizaje automático | Minería de datos y aprendizaje automático | Recomendación de dietas personalizadas | Gómez-Corona, C. *et al.* |
| 2021 | Red neuronal para la predicción del contenido de humedad en granos de café durante el secado | Redes neuronales | Predicción del contenido de humedad en granos de café | Henao, L.A. y Henao, G.E. |
| 2021 | Red neuronal para la segmentación de alimentos en imágenes utilizando la atención piramidal basada en ventanas | Redes neuronales | Segmentación de alimentos | Dong, X. *et al.* |
| 2022 | Aplicación de la técnica de colonia de abejas para optimizar la producción de cerveza artesanal | Técnica de colonia de abejas | Optimización de producción de cerveza artesanal | Rodríguez, J.L. *et al.* |
| 2022 | Técnica de Mixup Dinámico para el reconocimiento de ingredientes alimentarios de larga cola | Técnica de Mixup Dinámico | Reconocimiento de ingredientes alimentarios | Gao, J. |

A pesar de las aplicaciones de IA en alimentos desde inicios del siglo 21 y, concentradas en los últimos 13 años, no se encuentran estudios donde se destaque el uso de ingredientes con componentes bioactivos para la prevención de enfermedades, que además sean endémicos de un país o región como el caso del presente proyecto. Tal como se mencionó anteriormente, empresas como Hoow Foods se encuentran desarrollando alimentos más nutritivos y sostenibles, pero no reportan investigaciones en las cuales se integren componentes con bioactividad provenientes de Singapur (origen de la empresa) y, además, que los alimentos resultantes puedan ser adquiridos por gran parte de la población.

En este proyecto se pretenden integrar materias primas como la verdolaga, la calabaza y el amaranto, así como el frijol negro y jitomate, todos originarios de América, aunque en el caso del primer cultivo se reporta como originario de Asia o del sur de Europa. De acuerdo con la CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad), hay evidencia arqueológica de la presencia de la verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) antes de la llegada de Cristóbal Colón a América e incluso este organismo reporta algunos nombres de la planta en lenguas indígenas como la tarasca, zapoteca, chontal, náhuatl, entre otras.

De acuerdo con Zhou *et al.,* (2015) de la verdolaga se han aislado diversos compuestos bioactivos (flavonoides, alcaloides, terpenoides, esteroles, proteínas, entre otros) que poseen un amplio espectro de propiedades farmacológicas, como actividades antidiabéticas, antiinflamatorias, antiulcerogénicas, anticancerígenas, neuroprotectoras, antimicrobianas y antioxidantes. Por su parte Iranshahy *et al.,* (2017) destacan los beneficios antihiperglicémicos, antihiperlipidémicos, renoprotectivos y hepatoprotectivos de este cultivo, considerado en muchas regiones como una maleza. Jalali y Ghasemzadeh (2022) muestran una revisión en donde la verdolaga podría tener un papel potencial en el tratamiento del síndrome metabólico (diabetes, obesidad, etc.) a través de diferentes mecanismos como el antioxidante, antiinflamatorio, antihiperlipidémico, antiobesidad y antidiabético.

En lo que respecta a la calabaza, familia *Cucurbitaceae*, Salehi *et al.,* (2021), reportan que las plantas de la especie Cucurbita son ricas en fitoquímicos que actúan como antioxidantes. Las sustancias bioactivas más importantes presentes en las cucurbitáceas son las cucurbitacinas, las saponinas, los carotenoides, los fitoesteroles y los polifenoles. Estos fitoquímicos además de antioxidantes actúan como antitumorales, antidiabéticos, hepatoprotectores, antimicrobianos, antiobesidad, diuréticos, antiúlcerogénicos y antigenotóxicos. Resultados de ensayos clínicos sugieren que la Cucurbita proporciona beneficios para la salud de pacientes diabéticos, pacientes con hiperplasia benigna de próstata, mujeres infértiles, mujeres posmenopáusicas y con incontinencia urinaria.

En 2019 Jimoh *et al.,* reportaron que el *Amaranthus caudatus* es típicamente rico en compuestos bioactivos como ácidos fenólicos, licopeno, polifenoles, ácidos grasos insaturados, glucosinolatos, proteínas, péptidos solubles, flavonoides, escualeno y betacaroteno, entre otros. Así que la literatura reconoce las diversas capacidades del género *Amaranthus* para combatir enfermedades cuando se ingiere como alimento debido a estos compuestos bioactivos disponibles en altas concentraciones. Informes de investigaciones científicas validan el uso de *A. caudatus* para el tratamiento de diversos padecimientos como la diabetes mellitus, el cáncer, la malaria, la hipercolesterolemia, la aterosclerosis, las infecciones helmínticas y bacterianas, la inflamación, las enfermedades hepáticas y las complicaciones cardiovasculares. Kongdang *et al.,* (2021), por su parte, realizaron una revisión exhaustiva en la que confirman que las plantas de amaranto son ricas en polifenoles y fibras alimentarias. Basándose en las pruebas disponibles hasta la fecha, varias plantas de *Amaranthus* pueden ser un cultivo prometedor para su uso en el tratamiento de determinadas afecciones/trastornos gastrointestinales.

Finalmente, en el caso de cultivos como el frijol negro o el jitomate son más los estudios que soportan sus propiedades contra padecimientos como el cáncer o bien enfermedades crónico-degenerativas gracias a la presencia de grupos de compuestos como los polifenoles o los carotenoides (Cruz *et al.,* 2013; Elizalde-Romero *et al.,* 2021; Ganesan y Xu, 2017; Hayat *et al*., 2014; Perveen *et al.,* 2015; Viuda-Martos *et al.,* 2014).

Lo importante del presente proyecto no es solo considerar estos ingredientes endémicos, sino como involucrar en la investigación a productores de estos que puedan salir beneficiados también de este estudio y cumplir como ITESO con esta responsabilidad social que debemos a nuestros agricultores para el cuidado de la biodiversidad.

**Responsabilidad social en actividades de investigación tecnológica**

La responsabilidad social en la generación de innovación en ciencias de la vida se encuentra regulada por el Protocolo de Nagoya sobre acceso a los recursos genéticos y participación justa y equitativa que se deriven de su utilización al Convenio sobre la Diversidad Biológica, el cual, fue ratificado en México el 12 de octubre de 2014. El Protocolo de Nagoya reconoce:

* La importante contribución de la transferencia de tecnología y la cooperación al desarrollo sostenible, para crear capacidad de investigación e innovación que añada valor a los recursos genéticos en los países en desarrollo;
* La conciencia pública acerca del valor económico de los ecosistemas y la diversidad biológica y que la distribución justa y equitativa de su valor económico con los custodios de la diversidad biológica son los principales incentivos para la conservación de la diversidad biológica y la utilización sostenible de sus componentes;
* Los vínculos entre el acceso a los recursos genéticos y la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de dichos recursos;
* La seguridad jurídica respecto al acceso a los recursos genéticos y la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de su utilización;
* La importancia de fomentar la equidad y justicia en las negociaciones de las condiciones mutuamente acordadas entre los proveedores y los usuarios de recursos genéticos,

La importancia de los recursos genéticos para la seguridad alimentaria, la salud pública, la conservación de la diversidad biológica y la mitigación del cambio climático y la adaptación a este. (Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, 2011)

La firma de este protocolo en México obliga los usuarios de recursos genéticos a realizar el trámite de solicitud de acceso ante el Punto Focal Nacional de la SEMARNAT para la obtención de un certificado de cumplimento internacionalmente reconocido. Dicho trámite consiste en presentar, además de los detalles del proyecto de investigación, un contrato de consentimiento fundamentado previo y un contrato de condiciones mutuamente acordadas, ambos instrumentos, en este caso, a ser firmados entre el usuario del recurso genético (ITESO) y el proveedor (comunidades locales e indígenas productoras de los ingredientes endémicos) (SEGOB, 2014). La firma de ambos instrumentos, asegurarán la participación justa y equitativa de los beneficios (monetarios y no monetarios) derivados de la utilización de los recursos genéticos, a través de disposiciones de transferencia de tecnología y propiedad intelectual. Esta actividad es adicional al establecimiento de la estrategia de protección de la propiedad intelectual del proyecto mismo.

El registro de patentes y permisos de comercialización en países contratantes del Protocolo de Nagoya (139 países) se encuentra sujeto a la presentación de los certificados de cumplimiento internacionalmente reconocidos del país de origen del recurso genético (ABSCH, 2023). Asimismo, la omisión de dicho trámite en la comercialización de productos se encuentra ligado con delitos como la biopiratería y a la aplicación de multas.

# Metodología (incluye la argumentación respecto a su abordaje interdisciplinar).

El grupo interdisciplinario que integra este proyecto está conformado por profesores y egresados especialistas en el área de la inteligencia artificial que estarán acompañados por estudiantes de posgrado y licenciatura del área de Ciencia de Datos. A este grupo se integran profesores especialistas en el diseño, formulación, análisis sensorial e instrumental y procesamiento de alimentos, que de igual manera estarán acompañados por alumnos de Ingeniería de Alimentos y de la maestría en Ingeniería de Productos y Procesos. Finalmente, una parte importante del grupo es la profesora experta en vigilancia tecnológica, quien además estará llevando la vinculación con la industria y productores de alimentos endémicos interesados en el proyecto. El trabajo por desarrollar entre los diferentes grupos requiere de metodologías propias para cada disciplina que se estarán entrelazando a lo largo del proyecto y que se describen a continuación de manera general.

1. **Inteligencia Artificial**

Respecto a la parte de la inteligencia artificial se debe seguir la siguiente metodología:

1. Se deben definir las fuentes de los datos que se utilizarán para iniciar el análisis de información. Estas fuentes de datos pueden provenir de distintos sitios, tales como: páginas web, datos experimentales, bases de datos de acceso público o privado, creación manual, alguna API disponible, artículos científicos, entre muchas otras.

Toda esta información se debe recopilar y centralizar en una localización específica para tener en cuenta la fuente de la información, así como la trazabilidad de esta. Esta información será inmutable.

1. Posterior a esto, se generará una capa refinada de la información donde existe una limpieza, transformación y modificación de los datos para tener un consumo mejor y más sencillo de estos.
2. Después, de esta capa refinada es de donde se obtendrán los valores crudos para realizar la creación de variables (*features*), los cuales a su vez se guardarán en un lugar centralizado una vez calculados.
3. Posteriormente estos *features* pertenecerán a distintos subconjuntos de datos donde se aplicará un procesamiento definido para cada modelo y se llevarán a cabo las fases de: entrenamiento, optimización de hiperparámetros, y evaluación correspondiente del modelo. Cada conjunto utilizado para estos procesos serán los conjuntos de entrenamiento, desarrollo y prueba respectivamente. Estos conjuntos serán seleccionados de tal manera que ciertas características entre ellos no se vean replicadas, por ejemplo, será necesario no utilizar el mismo producto en los conjuntos ya que podría haber un poco de ‘feature leakage’.
4. Una vez que ya se tenga el modelo generado con un buen desempeño en el conjunto de prueba, y los resultados sean prometedores, se realizará un algoritmo adicional para realizar la búsqueda de propuestas utilizando ciertas restricciones de datos correspondientes. Este algoritmo de búsqueda identificará alguna combinación en el espacio de entrada y generará predicciones conforme se evalúan distintas combinaciones. Aquellas que se acerquen más al modelo, utilizando la información correspondiente, serán las que se tomarán en cuenta como propuesta para el desarrollo de un nuevo producto.
5. **Diseño**, f**ormulación, análisis sensorial e instrumental y procesamiento de alimentos**
   1. **Diseño y formulación**
6. La metodología tradicional para el diseño de formulaciones de alimentos inicia con determinar el perfil del producto objetivo el cual debe de responder a las necesidades del mercado meta en cuanto a contenido nutrimental, beneficios a la salud, adición de ingredientes especiales como los ingredientes endémicos, características sensoriales, porciones, precio, facilidad de transporte, conservación y consumo, pero también debe de responder a las regulaciones del lugar donde se va a fabricar y comercializar. Esta primera parte del diseño de una formulación utilizando herramientas de inteligencia artificial se mantiene igual al diseño tradicional. En este caso, las predicciones (por lo menos 3 predicciones) que va a realizar el algoritmo de búsqueda en el punto 5 del apartado anterior y que van a estar sustentadas en alguno o algunos de los parámetros mencionados al inicio del párrafo, servirán como el primer paso para el diseño de la formulación de un producto.
7. Como bien se menciona en el punto 5, aquellas predicciones que se acerquen al modelo serán aquellas que se tomen en cuenta para el desarrollo de un nuevo alimento que se producirá en los laboratorios y planta piloto de Ingeniería de alimentos sin haber aplicado un diseño experimental para lograr definir la fórmula óptima. El desarrollo se completará al verificar las condiciones de proceso propuestas por el algoritmo y fabricar el alimento.
8. Después de la elaboración de los productos, estos serán caracterizados sensorial y fisicoquímicamente para retroalimentar al modelo con respecto a sus primeras predicciones y ajustar con ello sus propuestas. Este ciclo se repetirá 2 veces más, la primera para proporcionarle correcciones al algoritmo de prueba y la segunda para validar que haya mejorado a partir de las correcciones alimentadas.
   1. **Análisis sensorial e instrumental**
9. Tanto los insumos como los nuevos productos terminados serán analizados instrumentalmente utilizando para ello diferentes métodos estandarizados y establecidos en normas (NOM, NMX, *Codex alimentarius*) y asociaciones específicas para análisis especializados (AOAC), con el fin de determinar sus características fisicoquímicas y comprobar su cambio o conservación después de la fabricación del producto. Entre los análisis que se llevarán a cabo se encuentran:
   * aw (PROY-NMX-F-621-NORMEX-2018. ALIMENTOS-DETERMINACIÓN DE ACTIVIDAD DE AGUA EN ALIMENTOS-MÉTODO DE PRUEBA).
   * % de humedad (NOM-116-SSA1-1994, Bienes y servicios. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD EN ALIMENTOS POR TRATAMIENTO TÉRMICO. MÉTODO POR ARENA O GASA; NMX-F-428-1982. ALIMENTOS. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD, MÉTODO RÁPIDO DE LA TERMOBALANZA)
   * pH (NMX-F-317-NORMEX-2013. ALIMENTOS-DETERMINACIÓN DE pH EN ALIMENTOS Y BEBIDAS NO ALCOHÓLICAS-MÉTODO POTENCIOMÉTRICO-MÉTODO DE PRUEBA); acidez (NMX-F-102-NORMEX-2010 - ALIMENTOS - DETERMINACIÓN DE ACIDEZ TITULABLE EN ALIMENTOS - MÉTODO DE ENSAYO (PRUEBA)).
   * Color (Espacio de color CIELAB)
   * °Brix (EC0763 DETERMINACIÓN DE GRADOS BRIX /SÓLIDOS SOLUBLES EN EL ANÁLISIS DE CALIDAD DE ALIMENTOS)
   * Pruebas reológicas: textura, viscosidad, amilogramas y farinogramas,
   * Tamaño de partícula y resorteo.
   * **Medición del componente bioactivo y comprobación de su conservación, interacciones o degradación (espectroscopía FTIR, espectroscopía Raman, HPLC, entre otros).**

Es importante destacar esta última medición y evaluación del componente bioactivo con diferentes técnicas analíticas llevadas a cabo en los laboratorios del investigador externo (Dr. Héctor Ruiz), en la Universidad Benemérita de Puebla (BUAP), pues los resultados proporcionados por éste serán un elemento clave de retroalimentación al algoritmo.

1. En el aspecto sensorial se realizará un análisis descriptivo de las propuestas y serán comparados con el perfil de productos que se encuentran en el mercado, esto con el fin de obtener los descriptores en términos de sabor, aroma y textura, para así determinar los atributos principales y hacer el análisis comparativo. La metodología por utilizar será el método Spectrum®, con un panel de jueces entrenados, seleccionando el lenguaje sensorial para la descripción de los productos, así como el uso de anclas para la asignación de las intensidades de cada atributo. Se realizará un análisis de varianza para evaluar si existe diferencia significativa entre los atributos de laspropuestasvs los productos del mercado, así como también se llevarán a cabo análisis de componentes principales, para la determinación de los atributos característicos de cada producto evaluado. La recolección de datos se hará mediante el software Fizz (Biosystemes, 2023).
2. De igual manera se realizará una prueba afectiva con consumidores para evaluar el nivel de agrado, preferencia, intención de comprar y la evaluación de cuatro atributos clave mediante la escala de “Justo como me gusta”, así como la obtención de comentarios espontáneos. Esto se realizará con la participación de 100 consumidores que serán 50% hombres y 50% mujeres, edades entre 18 y 60 años, cuyo nivel socioeconómico será C, C típico y C+. La encuesta será diseñada con la ayuda del software Fizz (Biosystemes, 2023). El análisis estadístico incluirá análisis de varianza para el nivel de agrado, análisis de penalización para la prueba “Justo como me gusta” y prueba de Friedman para la preferencia, así como la frecuencia de mención de los atributos por parte de los consumidores.
3. Se llevará a cabo la correlación de los datos de panel entrenado con los datos afectivos de consumidor, para determinar aquellos conductores que determinarán la elección del producto por parte de los consumidores, mediante el análisis del mapeo de preferencias, el cual se realizará con ayuda del software XL-Stat. También se hará la correlación de los datos fisicoquímicos con los datos sensoriales para la determinación de las intensidades percibidas por el panel y los valores de las diversas determinaciones fisicoquímicas, principalmente relacionadas con la textura de los productos.
   1. **Procesamiento de alimentos**
4. El proceso de producción del alimento generado por el algoritmo expuesto en el punto 5 del apartado de Inteligencia Artificial será validado en tres ocasiones como se mencionó en el apartado anterior, para establecer la certeza en las predicciones del algoritmo en cuanto a condiciones de proceso se refiere.
5. En una primera etapa se le pedirá al algoritmo que, junto con la formulación, genere las condiciones de proceso adecuadas para asegurar que los compuestos bioactivos no se vean afectados y se cumpla con los objetivos nutricionales, de prevención de padecimientos, sensoriales y de costos. Como se mencionó en el apartado del inciso b, se fabricará el alimento conforme a las especificaciones del algoritmo para evaluar la pertinencia de las condiciones de elaboración, es decir, si el algoritmo arroja que se realice una cocción a 60°C durante 10 minutos para un pan, esta no será válida ya que no cumple con las condiciones de elaboración de ese tipo de alimento. Una vez fabricado y analizado el producto, esta información se utilizará para alimentar al algoritmo y se entrene con base en la nueva información generada en el laboratorio y planta piloto.
6. Con la nueva información alimentada al algoritmo en el punto anterior se le pedirá que realice una nueva predicción para la formulación de un alimento que cumpla las restricciones establecidas en cuanto a los aspectos nutricionales, cantidad de compuestos bioactivos, costos y condiciones de proceso. Esta nueva predicción pasará por las mismas etapas mencionadas en los puntos anteriores: caracterización de insumos, validación de condiciones de proceso, realización y caracterización del alimento y, por último, retroalimentación del algoritmo de IA.
7. En una tercera etapa se realizará la validación del algoritmo de IA para cumplir con las condiciones deseadas para el diseño del alimento. En este punto se le pedirá de nuevo al algoritmo que realice la formulación y prediga los valores esperados de las variables clave, de nueva cuenta se realizará el alimento en los laboratorios y se comparará la información con la arrojada por el algoritmo para ratificar que los datos obtenidos en el laboratorio no difieran de manera significativa con los predichos por el algoritmo.
8. **Formalización de Solicitud de Acceso a Recursos genéticos**

El Protocolo de Nagoya fue ratificado en México en 2014 y promueve la protección de la propiedad intelectual y utilización sostenible de los recursos genéticos asociados a conocimientos tradicionales en el desarrollo de productos biotecnológicos, farmacéuticos, cosméticos y alimenticios, así como la inclusión de las comunidades locales o indígenas proveedoras en los beneficios monetarios y no monetarios derivados de la comercialización de los productos desarrollados. El legal uso de los recursos genéticos se acredita en México mediante un trámite de “Solicitud de acceso a recursos genéticos” ante la SEMARNAT que incluye la firma de dos convenios: “Consentimiento Fundamentado Previo” y “Condiciones Mutuamente Acordadas (ABS)” entre las comunidades y el usuario (ITESO), cuyo principal objetivo es la protección de las comunidades locales e indígenas poseedoras de dichos recursos genéticos y sus conocimientos tradicionales, así como asegurar su inclusión en actividades de transferencia de tecnología e investigación que universidades o centros de investigación realizan mediante el uso de la biodiversidad. Con el trámite de esta solicitud de acceso se busca, más allá de extraer conocimientos tradicionales, de su protección al uso ilegal e indebido, con lo que se estará acreditando ante la SEMARNAT, que ITESO cumple su responsabilidad social de manera formal (a través de la firma de los 2 convenios) con la comunidad proveedora del recurso genético (ingredientes endémicos) al incluirla en sus actividades de investigación y transferencia de tecnología (mediante capacitaciones para creación de capacidades) así como en los beneficios monetarios y no monetarios que se deriven de la comercialización de la tecnología desarrollada.

La omisión de la firma de ambos convenios, y del trámite ante la SEMARNAT, está relacionada con actos de biopiratería, por lo que, la presentación de este trámite evitará correr con dicho riesgo. Asimismo, ITESO cumplirá con la regulación vigente en actividades de investigación y coadyuvará a la protección del patrimonio cultural de las comunidades involucradas en el proyecto. El procedimiento por seguir será el siguiente:

* 1. **Gestión del contrato de Consentimiento Fundamentado Previo**

Se realizará un análisis y determinación de las implicaciones en materia de propiedad intelectual y transferencia de tecnología del proyecto, conforme a las leyes vigentes en México, enfocados al uso de conocimientos tradicionales ancestrales y el uso de recursos genéticos. Posteriormente, se llevará a cabo una plática introductoria al Protocolo de Nagoya y su aplicación en México con las comunidades locales proveedoras de los ingredientes endémicos y se realizará la entrega de la “Guía de facilitación de normas y protocolos comunitarios para la gobernanza de la Biodiversidad” de 2017 de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Finalmente, se realizará la propuesta de contrato para la firma por el representante de la comunidad.

* 1. **Gestión del Contrato de Condiciones Mutuamente Acordadas.**

Se realizará un análisis y determinación de las implicaciones de propiedad intelectual y transferencia de tecnología del proyecto, integrando resultados de evaluaciones de patentabilidad, conocimientos tradicionales ancestrales y uso de recursos genéticos para el establecimiento de beneficios monetarios y no monetarios en las comunidades locales proveedoras de los ingredientes endémicos para su inclusión en la propuesta de contrato y posterior firma por el representante de la comunidad.

* 1. **Gestión de Solicitud de Acceso a Recursos Genéticos ante el Punto Focal Nacional de la SEMARNAT.**

Una vez firmados el Contrato de Consentimiento Fundamentado Previo y de Condiciones Mutuamente Acordadas entre ITESO y la comunidad local productora de los ingredientes endémicos, se presentará ante el Punto Focal Nacional de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales para la obtención del Certificado de Cumplimiento Internacionalmente Reconocido.

* 1. **Gestión de depósito de material genético ante el Centro Nacional de Recursos Genéticos.**

Se identificará el germoplasma a depositar y realizará el trámite de depósito ante el Centro Nacional de Recursos Genéticos ubicado en Tepatitlán, Jalisco.

1. Definición de la estrategia de protección de la propiedad intelectual, búsquedas del estado de la técnica para definir la patentabilidad y libertad de operación, estrategia de comercialización del proyecto a nivel nacional e internacional.
2. Se realizarán búsquedas en bases de datos de patente como Derwent® de Clarivate, Siga del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) para determinar la patentabilidad de la invención y se realizará un análisis de libertad de operación revisando las reivindicaciones de las patentes identificadas. Asimismo, se establecerá una estrategia de protección y comercialización mediante la asociación de los resultados de las búsquedas de patentes y la búsqueda de información en fuentes secundarias, incluida en la base de datos Euromonitor.

Diagrama, Escala de tiempo

Descripción generada automáticamente

Diagrama

Descripción generada automáticamente

**Imagen 9.** Representación de la metodología a utilizar para el diseño y desarrollo de nuevos alimentos funcionales utilizando técnicas de inteligencia artificial (IA). Fuente: Ing. Daniel Hernández Mota.

Como se puede constatar en la descripción de la metodología y en la imagen 9, el abordaje interdisciplinar está presente en cada una de las etapas del proyecto pues todas se interrelacionan y varias se realizan de manera simultánea para lograr el desarrollo adecuado del mismo. Cabe señalar que los profesores del Departamento de Matemáticas y física que participarán en esta ocasión en el proyecto son solo del área de Ciencia de datos. Concretamente el Dr. César Lozano estará liderando el trabajo del modelo predictivo para que éste pueda proponer formulaciones de alimentos que se estarán validando por el equipo de Ingeniería de Alimentos. El Dr. César Lozano será apoyado por el Ing. Daniel Hernández Mota, egresado de Nanotecnología, en las actividades antes mencionadas. Los compañeros de Nanotecnología entrarían en una segunda etapa de este proyecto que no se contempló para esta convocatoria del FAI.

# Productos esperados y relación con los objetivos del (los) PFI relacionados.

1. Modelo predictivo que identifique la similitud entre dos productos distintos dado una lista de ingredientes de cada producto. Aunado a esto, algoritmo de búsqueda dentro del espacio de similitud entre estos productos distintos para la proposición de nuevas combinaciones de ingredientes y potencializar el diseño.
2. Prototipos finales del(os) alimentos funcionales diseñados con ingredientes endémicos de México reconocidos por contener componentes bioactivos benéficos para la salud.
3. Solicitud de Acceso de recursos genéticos del ingrediente presentado ante SEMARNAT y de depósito de material genético (germoplasma) ante el Centro Nacional de Recursos Genéticos.
4. Material audiovisual con la documentación de al menos 2 casos del uso de 2 ingredientes.
5. Reporte de la búsqueda del estado de la técnica y libertad de operación, estrategia de comercialización del proyecto a nivel nacional e internacional.
6. Informe final del proyecto de investigación que incluirá cada elemento del proyecto: bases de datos limpias y filtradas; definición de las herramientas de Inteligencia Artificial utilizadas (definición de los algoritmos); predicciones, fabricaciones y análisis de los productos (fisicoquímicos, sensoriales y de los componentes bioactivos), conclusiones y perspectivas.
7. Reportes de Proyectos de Aplicación Profesional (PAP).

Se pretende realizar una o dos publicaciones para proponerlas en una revista internacional. Esta o estas publicaciones estarán basadas principalmente en los entregables 1, 2, 3, 6 y 7. Las publicaciones no se comprometieron como un producto o entregable pues primero se quiere validar si el resultado de la investigación es suficiente para protegerlo y comercializarlo.

# Cronograma de trabajo

Interfaz de usuario gráfica, Aplicación, Tabla

Descripción generada automáticamente Imagen que contiene Interfaz de usuario gráfica

Descripción generada automáticamente Interfaz de usuario gráfica, Aplicación, Tabla

Descripción generada automáticamente

Interfaz de usuario gráfica, Aplicación, Tabla

Descripción generada automáticamente

Enseguida se presentan las tareas concentradas del proyecto con los responsables (primer nombre) y participantes (nombres siguientes):

Interfaz de usuario gráfica, Texto, Aplicación, Correo electrónico

Descripción generada automáticamenteInterfaz de usuario gráfica, Texto, Aplicación, Correo electrónico

Descripción generada automáticamente

Interfaz de usuario gráfica, Texto, Aplicación

Descripción generada automáticamente

# Bibliografía

1. ABSCH. (24 de 05 de 2023). ACCESS AND BENEFIT-SHARING CLEARING-HOUSE. Recuperado de <https://absch.cbd.int/en/countries>
2. Balestier, M., Cui, M., Nandakumar, R., Tyagi, A., Vintimilla, C., & Mathew, S. (2021, October). Regression Based Machine Learning to Generate and Validate a Metric for Food Insecurity. In 2021 IEEE MIT Undergraduate Research Technology Conference (URTC) (pp. 1-5). IEEE.
3. Buzura, L., Budileanu, M. L., Potarniche, A., & Galatus, R. (2021, October). Python based portable system for fast characterisation of foods based on spectral analysis. In 2021 IEEE 27th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME) (pp. 275-280). IEEE.
4. CONABIO (s.f.). Portulacaceae: *Portulaca oleracea* L. Verdolaga. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/portulacaceae/portulacaoleracea/fichas/ficha.htmel> 7 de mayo de 2023.
5. Cruz Bojórquez RM, González Gallego J, Sánchez Collado P. (2013). Propiedades funcionales y beneficios para la salud del licopeno [Functional properties and health benefits of lycopene]. Nutr Hosp. 28(1):6-15. Spanish. doi: 10.3305/nh.2013.28.1.6302.
6. Dong, X., Wang, W., Li, H., & Cai, Q. (2021, November). Windows Attention Based Pyramid Network for Food Segmentation. In 2021 IEEE 7th International Conference on Cloud Computing and Intelligent Systems (CCIS) (pp. 213-217).
7. Elizalde-Romero CA, Montoya-Inzunza LA, Contreras-Angulo LA, Heredia JB, Gutiérrez-Grijalva EP. (2021). Solanum Fruits: Phytochemicals, Bioaccessibility and Bioavailability, and Their Relationship With Their Health-Promoting Effects. Front Nutr. 8:790582. doi: 10.3389/fnut.2021.790582.
8. ENSANUT. (2018). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018-2019 Resultados nacionales.
9. García, M., & Cortés Avella, D. F. (2019). Desarrollo de una herramienta de gestión del proceso de secado para maximizar la capacidad antioxidante de los extractos de la cáscara del mangostino seco.
10. Ganesan K, Xu B. (2017). Polyphenol-Rich Dry Common Beans (Phaseolus vulgaris L.) and Their Health Benefits. Int J Mol Sci. 18(11):2331. doi: 10.3390/ijms18112331.
11. Gernaey, K. V., Huusom, J. K., Gani, R., Eds.; Elsevier, 2015; Vol. 37, pp 1133−1138.
12. Hayat I, Ahmad A, Masud T, Ahmed A, Bashir S. (2014). Nutritional and health perspectives of beans (Phaseolus vulgaris L.): an overview. Crit Rev Food Sci Nutr. 54(5):580-92. doi: 10.1080/10408398.2011.596639.
13. IIEG. (2022). Día Mundial de la Diabetes 2022.
14. IIEG. (2021). Enfermedades de la población de Jalisco en 2021.
15. Iranshahy M, Javadi B, Iranshahi M, Jahanbakhsh SP, Mahyari S, Hassani FV, Karimi G. A. (2017). review of traditional uses, phytochemistry and pharmacology of Portulaca oleracea L. J Ethnopharmacol. 205:158-172. doi: 10.1016/j.jep.2017.05.004.
16. Jalali J, Ghasemzadeh Rahbardar M. (2022). Ameliorative effects of Portulaca oleracea L. (purslane) on the metabolic syndrome: A review. J Ethnopharmacol. 299:115672. doi: 10.1016/j.jep.2022.115672.
17. Jimoh MO, Afolayan AJ, Lewu FB. (2019). Therapeutic uses of Amaranthus caudatus L. Trop Biomed. 36(4):1038-1053.
18. Johansen, K., Eds.; Elsevier, 2007; Vol. 23, pp 167−179. (10) Dubbelboer, A.; Janssen, J.; Krijgsman, A.; Zondervan, E.; Meuldijk, J. Integrated Product and Process Design for the Optimization of Mayonnaise Creaminess. In Computer-Aided Chemical Engineering.
19. Kongdang P, Dukaew N, Pruksakorn D, Koonrungsesomboon N. (2021). Biochemistry of Amaranthus polyphenols and their potential benefits on gut ecosystem: A comprehensive review of the literature. J Ethnopharmacol. 281:114547. doi: 10.1016/j.jep.2021.114547.
20. Meeuse, F. M., Chapter 6 - Process Synthesis for structured food products. In Computer-Aided Chemical Engineering; Ng, K. M., Gani, R., Dam-Johansen, K., Eds.; Elsevier, 2007; Vol. 23, pp 167−179.
21. Müller, A. C., Guido, S., & Müller, A. C. (2016). Introduction to machine learning with Python: A guide for data scientists. O'Reilly Media.
22. Negro, A. (2021) Graph-Powered Machine Learning. Manning Publicactions Co.
23. Nozaki, N.; Konno, E.; Sato, M.; Sakairi, M.; Shibuya, T.; Kanazawa, Y.; y Georgescu, S. (2017) Application of Artificial Intelligence Technology In product Design. Fujitsu Scientific & Technical Journal 53(4): pp 43-51
24. Our World in data. (2019). Food waste per capita revisado el 7 de mayo de 2023 <https://ourworldindata.org/>
25. Paul, R., Prabhu, S. B., & Yadav, S. (2022, October). FPGA based Intelligent Food Spoilage Detection for Commercial Storage. In 2022 International Conference on Edge Computing and Applications (ICECAA) (pp. 752-758). IEEE.
26. Perveen R, Suleria HA, Anjum FM, Butt MS, Pasha I, Ahmad S. (2015). Tomato (Solanum lycopersicum) Carotenoids and Lycopenes Chemistry; Metabolism, Absorption, Nutrition, and Allied Health Claims--A Comprehensive Review. Crit Rev Food Sci Nutr. 55(7):919-29. doi: 10.1080/10408398.2012.657809.
27. Salehi B, Quispe C, Sharifi-Rad J, Giri L, Suyal R, Jugran AK, Zucca P, Rescigno A, Peddio S, Bobiş O, Moise AR, Leyva-Gómez G, Del Prado-Audelo ML, Cortes H, Iriti M, Martorell M, Cruz-Martins N, Kumar M, Zam W. (2021). Antioxidant potential of family Cucurbitaceae with special emphasis on Cucurbita genus: A key to alleviate oxidative stress-mediated disorders. Phytother Res. 35(7):3533-3557. doi: 10.1002/ptr.7045. Epub 2021 Feb 16. PMID: 33590924.
28. Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. (2011). *Protocolo de Nagoya sobre Acceso a Recursos Genéticos y Participación Justa y Equitativa en los Beneficios que se Deriven de su Utilización al Convenio de la Diversidad Biológica* (ISBN: 92-9225-310-7 ed.). Montreal, Québec, Canadá: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
29. SEGOB. (10 de octubre de 2014). DECRETO Promulgatorio del Protocolo de Nagoya sobre Acceso a los Recursos Genéticos y Participación Justa y Equitativa en los Beneficios que se Deriven de su Utilización al Convenio sobre la Diversidad Biológica. *DOF, Diario Oficial de la Federación*.
30. Shwartz-Ziv, R., & Armon, A. (2021) Tabular Data: Deep Learning is Not All You Need. Cornell University Recuperado el 15 de abril del 2023 de: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2106.03253>
31. Viuda-Martos M, Sanchez-Zapata E, Sayas-Barberá E, Sendra E, Pérez-Álvarez JA, Fernández-López J. (2014). Tomato and tomato byproducts. Human health benefits of lycopene and its application to meat products: a review. Crit Rev Food Sci Nutr. 54(8):1032-49. doi: 10.1080/10408398.2011.623799.
32. Zapata-Cortes, J. A., Vélez-Bedoya, Á. R., & Arango-Serna, M. D. (2020). Mejora del proceso de distribución en una empresa de transporte. Investigación administrativa, 49(126).
33. Zhang, X., Zhou, T., Zhang, L., Yip, K. y Ming, K. (2019) Food Product Design: A Hybrid Machine Learning and Mechanistic Modeling Approach. Indistrial and Engineering Chemistry Research 58 (36), 16743-16752 DOI: 10.1021/acs.iecr.9b02462
34. Zhou YX, Xin HL, Rahman K, Wang SJ, Peng C, Zhang H. (2015). Portulaca oleracea L.: a review of phytochemistry and pharmacological effects. Biomed Res Int. 2015; 2015:925631. doi: 10.1155/2015/925631. PMID: 25692148; PMCID: PMC4321094.

# INTERLOCUCIÓN SOCIAL

# Enumeración de los agentes no académicos de la sociedad civil, gubernamental o empresarial interesados en el proyecto y declaración de sus intenciones de aprovechar los frutos del trabajo de investigación.

1. Comunidades poseedoras de conocimientos tradicionales y ancestrales de los ingredientes endémicos seleccionados (Ruperto Flores Flores productor de Amaranto en Puebla; X-Picy Hortalizas de Acatic, productor de verdolaga y calabaza; Agrícola nueva generación, productores de jitomate de Zacatecas y Procesadora de alimentos la fortuna, productores de frijol negro y jitomate, también de Zacatecas) en donde se formalizará la participación de beneficios de la transferencia de la tecnología obtenida, a través de la firma de un Consentimiento Fundamentado Previo y Condiciones Mutuamente Acordadas como medida de inclusión en las actividades de investigación en el marco del Protocolo de Nagoya.
2. Cámara de la Industria Alimenticia de Jalisco.

# Descripción de la participación de los interlocutores sociales en cada etapa del proyecto.

La comunidad poseedora de conocimientos tradicionales y/o ancestrales de los ingredientes endémicos seleccionados participarán en la colecta de los ingredientes, también como receptores de la información referente a la aplicación del Protocolo de Nagoya con el objetivo de crear capacidades de negociación para el uso del ingrediente endémico y el establecimiento de beneficios monetarios y no monetarios para la firma del Consentimiento Fundamentado Previo y las Condiciones Mutuamente Acordadas.

# DECLARACIÓN DE ADHESIÓN A LOS PRINCIPIOS ÉTICOS DEL ITESO CONTENIDOS EN LAS NORMATIVAS VIGENTES.

El grupo de investigación en vías de consolidación que trabajará en este proyecto se apega a los principios éticos establecidos por la Comisión de Ética de la Investigación (CEI) del Comité Académico del ITESO. El grupo ha trabajado, analizado y reflexionado acerca de los mecanismos que se utilizarán a lo largo del proyecto para disminuir los riesgos del estudio e incrementar los beneficios y con ello cumplir el principio de beneficencia. Asimismo, el grupo de investigación está muy consciente de que el proyecto propuesto no genera ningún daño, ni lesiona a cualquier ser vivo o a sus hábitats, cumpliendo con el principio de no maleficencia.

Por otra parte, el grupo ha planeado el proyecto de tal manera que no se generará desigualdad entre los participantes, incluyendo los interlocutores sociales, pues además se registrará el proyecto ante la SEMARNAT, dando cumplimiento así al Protocolo de Nagoya y por supuesto, al principio de justicia.

Cabe resaltar que el grupo de investigación declara que se informará de manera exhaustiva y clara a los integrantes del panel de jueces entrenado y en su defecto al panel de consumidores, en qué consistirá su participación, los alimentos a analizar de manera sensorial, así como el uso que se le dará a los resultados de la evaluación para que ellos puedan decidir libre y voluntariamente su participación en el estudio. A los que decidan ser parte del panel, además, se les asesorará y apoyará durante su participación, de acuerdo con el principio de autonomía.

Finalmente, todos los integrantes del grupo de investigación pertenecientes al ITESO acreditaron los cursos sobre ética de CITI Program sobre Conflict of Interest, Responsible Conduct of Research (RCR) e Information Privacy & Security (IPS), así como el de Human Subject Research (HSR), al trabajar con sujetos para obtener información de los atributos sensoriales de los alimentos.