



Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA - Iztapalapa

División de Ciencias Básicas e Ingeniería
Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica

Ciudad de México, a 8 de febrero de 2024.

IPH.05.1.NE/2024/AAIQ/1.

DR. ROMÁN LINARES ROMERO
Presidente del Consejo Divisional de C.B.I.

Presente

Por este conducto solicito a Usted someter a la consideración del Consejo Divisional la solicitud de contratación como Profesor Visitante del **DR. GABRIEL CONTRERAS ZARAZÚA**. Esta contratación se propone que comprenda el periodo del 5 de marzo del año 2024, al 4 de marzo del año 2025.

Se anexa la consulta o carta de apoyo para la contratación del **DR. CONTRERAS ZARAZÚA** sometida por parte de la mayoría de los integrantes del Área Académica de Ingeniería Química.

A t e n t a m e n t e

"Casa abierta al tiempo"

DR. RODOLFO VÁZQUEZ RODRÍGUEZ
Jefe del Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica

Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco No. 186, Col. Leyes de Reforma 1ª. Sección, C.P. 09310, Iztapalapa, CDMX.
Tel. [REDACTED] Email: [REDACTED]@xanum.uam.mx



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

PROPUESTA PARA LA CONTRATACIÓN DE PERSONAL ACADÉMICO VISITANTE

FOLIO	PV.I.CBI.c.001.24	FECHA	DÍA	MES	AÑO
			06	02	2024

CONFORME A LO PREVISTO EN EL REGLAMENTO DE INGRESO, PROMOCIÓN Y PERMANENCIA DEL PERSONAL ACADÉMICO, SE PROPONE LA CONTRATACIÓN DE PERSONAL ACADÉMICO VISITANTE, PARA OCUPAR CON CARÁCTER TEMPORAL LA SIGUIENTE PLAZA:

TIEMPO DE DEDICACIÓN COMPLETO	NO. DE HORAS (SOLO TIEMPO PARCIAL) DE CLASE:	DE OTRAS ACTIVIDADES ACADÉMICAS:
UNIDAD IZTAPALAPA	DIVISIÓN CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA	
DEPARTAMENTO INGENIERÍA DE PROCESOS E HIDRÁULICA	HORARIO LUNES A VIERNES DE 9:00 A 17:00 HORAS	
DURACIÓN DE LA LA CONTRATACIÓN	FECHA DE INICIO DE LABORES	FECHA DE TÉRMINO DE LABORES
	DÍA MES AÑO 05 03 2024	DÍA MES AÑO 04 03 2025

ACTIVIDADES A REALIZAR

Además de poder realizar las funciones de las y los asistentes y el profesorado con categoría de asociado, planear, desarrollar, dirigir, coordinar y evaluar programas académicos, responsabilizándose directamente de los mismos. Realizar las actividades de docencia, investigación y preservación y difusión de la cultura, establecidas en el artículo 7-4 del RIPPPA y demás normas aplicables. Impartir UEAs de la licenciatura en Ingeniería Química, tales como: Introducción a la Ingeniería Química, Balances de Materia y Energía, Procesos de Separación I y II, Laboratorio de Procesos y Diseño, Laboratorio de Procesos Químicos, así como cursos de apoyo a la división de CBS tales como Balances de Materia, Flujo de Fluidos, Transferencia de Calor y Transferencia de Masa, Cursos Complementarios. Realizar investigación sobre: Desarrollo Sostenible de Bioturbosina por Nueva Ruta de Furanos a partir de Residuos Lignocelulósicos de México: Diseño, Optimización, Control del Proceso y su Cadena de Suministro en Perspectiva de Economía Circular.

LA PLAZA HABRÁ DE SER OCUPADA POR:

APELLIDO PATERNO CONTRERAS	APELLIDO MATERNO ZARAZÚA	NOMBRE (S) GABRIEL	CURP [REDACTED]
NACIONALIDAD MEXICANO	R.F.C. [REDACTED]	FECHA DE NACIMIENTO	DÍA MES AÑO [REDACTED]
ESTADO CIVIL SOLTERO	TELÉFONOS [REDACTED]	EDAD 33	SEXO MASCULINO
CALLE: [REDACTED]	CORREO ELECTRÓNICO [REDACTED]@ugto.mx; [REDACTED]@hotmail.com		No. EXT. EDIF. DEPTO. 420
COLONIA, FRACC. O UNIDAD HABITACIONAL [REDACTED]	DELEGACIÓN O MUNICIPIO: [REDACTED]	ESTADO: [REDACTED]	CÓDIGO POSTAL [REDACTED]

DOCUMENTOS QUE SE ANEXAN:	CURRÍCULUM VITAE <input checked="" type="checkbox"/>	R.F.C. <input checked="" type="checkbox"/>	CURP <input checked="" type="checkbox"/>
	ACTA DE NACIMIENTO O CARTA DE NATURALIZACIÓN <input checked="" type="checkbox"/>	FORMA MIGRATORIA (FM) <input type="checkbox"/>	PASAPORTE <input type="checkbox"/>
			OTROS ESPECIFIQUE <input type="checkbox"/>

Para uso exclusivo de la Comisión Dictaminadora

Aprobada en la Sesión No. _____ del Consejo Divisonal de fecha DÍA MES AÑO	Categoría: _____ Nivel: _____ Puntaje: _____
	FECHA: DÍA MES AÑO

PRESIDENTE DEL CONSEJO DIVISIONAL

NOMBRE Y FIRMA

PRESIDENTE DE LA COMISIÓN DICTAMINADORA

NOMBRE Y FIRMA

SECRETARIO DE LA COMISIÓN DICTAMINADORA

NOMBRE Y FIRMA

T1 RECTORÍA GENERAL - DIPPPA
T2 COMISIÓN DICTAMINADORA DIVISIONAL
T3 JEFE DE DEPARTAMENTO

T4 RECTORÍA DE UNIDAD
T5 DIRECTOR DE DIVISIÓN
T6 CONSEJO DIVISIONAL

NOTA: SE UTILIZA ÚNICAMENTE AL REVERSO DEL TANTO 1

Vo. BO. PLANTILLA DE UNIDAD

SELLO

Vo. BO. PLANTILLA DE RECTORÍA GENERAL

SELLO

CODIFICACIÓN INTERNA (No. DE PLAZA EN PLANTILLA)
330
CONTROL DE PLANTILLA
NOMBRE Y FIRMA



DECLARACIÓN PARA ASPIRANTES A FORMAR PARTE DEL PERSONAL ACADÉMICO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

FECHA	DÍA	MES	AÑO
	06	02	2024

DRA. NORMA RONDERO LÓPEZ

PERSONA TITULAR DE LA SECRETARÍA GENERAL

Conforme al requisito establecido en el artículo 3, último párrafo del Reglamento de Ingreso, Promoción y Permanencia de Personal Académico (RIPPPA), para ser aspirante a formar parte del personal académico de la Universidad Autónoma Metropolitana, manifiesto bajo protesta de decir verdad:

A CONTINUACIÓN ELIJA LA OPCIÓN SEGÚN CORRESPONDA:

a) EN CASO DE NO HABER SIDO SANCIONADA(O)


Que no se me ha sancionado mediante resolución firme emitida por alguna autoridad jurisdiccional o administrativa, por actos u omisiones relacionadas con violencia por razones de género u otras violaciones graves a derechos humanos.

b) EN CASO DE HABER SIDO SANCIONADA(O)

Que he cumplido con la reparación del daño o la reparación integral a las víctimas por haber sido sancionada(o) mediante resolución emitida por alguna autoridad jurisdiccional o administrativa, por actos u omisiones relacionadas con violencia por razones de género u otras violaciones graves a derechos humanos.

Describa y adjunte al presente la documentación que acredita lo anterior.

PERSONA INTERESADA



Gabriel Contreras Zarazua

NOMBRE Y FIRMA

T1 SECRETARÍA GENERAL
T2 UNIDAD DE ADSCRIPCIÓN
T3 PERSONA INTERESADA

Universidad Autónoma Metropolitana



Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica

División de Ciencias Básicas e Ingeniería

UAM-Iztapalapa

“Desarrollo Sostenible de Bioturbosina por Nueva Ruta de Furanos a partir de Residuos Lignocelulósicos de México: Diseño, Optimización, Control del Proceso y su Cadena de Suministro en Perspectiva de Economía Circular”

Plan de Trabajo primer año, Plaza Profesor Visitante.

Presenta:

Dr. Gabriel Contreras Zarazúa

Febrero, 2024

1. Plan de Docencia

En la presente propuesta de plan de docencia, se detallan las actividades a realizar durante el primer año de profesor visitante.

- Participar en forma activa en todas las tareas que me sean asignadas, como tutorías, asesorías e impartición de cursos a nivel licenciatura y posgrado.
- Se pretende impartir al menos 2 UEAs por trimestre durante este primer año que podrán ser de nivel licenciatura o posgrado. Dentro de algunas UEAs a nivel Licenciatura que se podrían impartir se encuentran: Termodinámica I y II, Balance de materia y Energía I y II, Procesos de separación I y II, Laboratorio de Procesos y Diseño I y II, Dinámica y Control de procesos, entre otras. En el caso de nivel Posgrado se podrían impartir se encuentran: Matemáticas aplicadas, Termodinámica, Transferencia de Calor y Masa, Temas Selectos de Ingeniería Química I-VI, Control óptimo y Control Lineal de procesos. Es importante mencionar, que estas UEAs, son solo algunas propuestas tentativas y que dicha asignación dependerá de las necesidades de las específicas de los programas de estudio de licenciatura y posgrado, por lo que la asignación de dichos cursos queda sujeto a la consideración de los coordinadores de Licenciatura y Posgrado.
- Impartir talleres cortos relacionados a tópicos como: análisis cuantitativo de riesgos, simulación, optimización, control predictivo, análisis de ciclos de vida, diseño de procesos de separación, entre otros.
- Proponer cursos optativos tales como: análisis cuantitativo de riesgos, análisis de ciclos de vida, control predictivo, optimización de procesos las cuales tengan un enfoque hacia al diseño, intensificación, optimización y control de procesos.
- Participar activamente en procesos de certificación, análisis curricular de los programas de licenciatura, maestría y posgrado, así como en cualquier actividad que me sea asignada por el Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica.

2. Plan de Difusión y Preservación de la Cultura

Como parte de las actividades para Difusión y Preservación de la Cultura, mi intención y compromiso es realizar las siguientes actividades:

- Participar en la organización de congresos, simposios, mesas redondas, y cualquier actividad que contribuya en el desarrollo de la vinculación de los Programa Educativos de la Universidad y del Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica.
- Participar como árbitro en eventos académicos y artísticos, así como árbitro de trabajos de investigación y en eventos de divulgación.
- Participar en eventos organizados por la Universidad, así como en eventos de otras instituciones.
- Colaborar en la elaboración de exámenes departamentales, de área o de admisión. Además de que me encuentro en la mejor disponibilidad para realizar cualquier actividad de extensión que ayude al fortalecimiento y divulgación de los programas educativos.
- Realizar conferencias científicas y seminarios que sirvan para divulgar el quehacer académico de la institución, buscando relacionarse con investigadores a nivel regional, nacional e incluso internacional para lograr un intercambio académico de ideas.
- Apoyar en la organización de los seminarios del posgrado en ingeniería química.
- Realizar seminarios y cursos cortos en otras instituciones o empresas, que involucren la síntesis, el diseño y la optimización de proceso.
- Participación en la organización de congresos nacionales, por ejemplo, el congreso AMIDIQ o AMOAIQ.

3. Plan de Investigación

- Desarrollar de la mejor manera y en colaboración con el cuerpo académico el proyecto de investigación planteado en este documento y que se detalla más adelante en el documento.
- Búsqueda de financiamiento adicional para la realización de proyectos ya sea por parte de SICES, PRODEP y/o CONACYT.
- Se pretende realizar colaboraciones en diferentes proyectos con colegas de distintas universidades del país, así como de otros países. Actualmente se tiene contacto y colaboración con profesores investigadores del CONACYT-CIATEC A.C., Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo, University of Waterloo (Canada), Desert Research Institute (Estados Unidos), Universidad de Salamanca (España), Technische Universiteit Delft (Países Bajos), Universidad Nacional de Colombia, Universidad Tecnológica de Pereira (Colombia), Instituto Politécnico Nacional (IPN), entre otros.
- Se tendrá una completa apertura en la colaboración de proyectos ya establecidos por otros investigadores en donde se pueda llegar a aportar conocimientos y experiencias propias en el desarrollo de dichos proyectos y que, por tanto, den como resultado un trabajo de mayor impacto y calidad
- Cabe mencionar que me encuentro en total disposición para apoyar a los profesores del departamento en todo lo necesario para realizar publicaciones en congresos nacionales e internacionales, así como en revistas indexadas.

4. Productos entregables

- Al menos 2 artículos publicados en revistas internacionales indexadas JCR.
- Presentación de los resultados generados en dos congresos (tentativamente uno nacional y uno internacional).
- Dos cursos por trimestre impartidos, ya sea nivel licenciatura o posgrado (Constancia de impartición de clases)
- Solicitud de ingreso al Perfil PRODEP (2024).
- Propuesta de proyecto de Ciencia Básica o Frontera de CONACYT (2024).

5. Introducción

En años recientes, ha surgido una creciente necesidad de disminuir la dependencia de combustibles fósiles y priorizar el uso de energías renovables, debido al cambio climático provocado por la acumulación de gases de efecto invernadero. Como respuesta, diversos países, incluyendo a México, han ratificado tratados como el de París y han implementado políticas, como los Programas Nacionales Estratégicos (PRONACES), para reducir sus emisiones de CO₂[1]. Datos del Departamento de Energía de Estados Unidos indican que el sector del transporte representa el 28% de las emisiones totales, superando a sectores como el de la generación eléctrica, industrial y sector residencial [2]. Dentro de los medios de transporte, la industria de la aviación es una de las que más contribuye a las emisiones y es la que tiene la mayor tasa de crecimiento. Pese a la pandemia de Covid-19, en 2020 el sector de la aviación transportó a 2.8 billones de pasajeros y fue esencial para el 35% de las exportaciones globales y el 51% del turismo internacional, generando alrededor de 56 millones de empleos y produciendo 915 millones de toneladas de CO₂, lo que representa entre el 2-3% de las emisiones globales[3]. La Asociación Internacional del Transporte Aéreo (IATA) prevé que las emisiones de la aviación aumenten un 700% para 2050 respecto a 2005[4]. Ante esto, la IATA busca reducir las emisiones aéreas a la mitad para 2050, y los combustibles renovables aparecen como la solución más viable[4].

1.1 Estado actual en la producción de bioturbosina

El combustible renovable para aviación, conocido también como bioturbosina o queroseno parafínico sintético (SPK), es una mezcla de hidrocarburos renovables cuyas propiedades fisicoquímicas son similares a las del combustible de origen fósil. La bioturbosina puede ser producida a partir de diversas fuentes, como triglicéridos, azúcares y biomasa amiláceas, que pueden ser comestibles, no comestibles o incluso residuos. Dependiendo de la materia prima seleccionada, existen varios procesos que pueden emplearse para producir bioturbosina. Sin embargo, los 3 procesos más avanzados y certificados por la American Society for Testing and Materials (ASTM) son: Fischer-Tropsch (FT), Hidroprocesado de Ésteres y Ácidos Grasos (HEFA) y Alcohol to Jet (ATJ) [5]. Algunas de las características, ventajas y desventajas de estos procesos se mencionan a continuación.

- HEFA: Este proceso se caracteriza por emplear la hidrogenación catalítica, desoxigenación, isomerización e hidrocrackeo para convertir insumos a base de triglicéridos en un producto que contiene cadenas de carbono C9-C15. Los triglicéridos son obtenidos de aceites vegetales, grasas animales y aceite de pirolisis. Una de sus principales ventajas es que las tecnologías de conversión de triglicéridos a bioturbosina ya están disponibles a escala industrial, y estas tecnologías tienen conversiones y selectividades altas para bioturbosina. Sin embargo, sus desventajas radican en los altos costos asociados con la materia prima, especialmente en la recolección y obtención de aceites y grasas, que representan 60-75% del costo final de la bioturbosina de esta ruta. Algunos de los aceites que utiliza son considerados comestibles, lo que genera una competencia con los alimentos. Debido a la complejidad de obtener los aceites y grasas muchos países carecen de infraestructura de cadena de suministro[6].
- ATJ: transforma el alcohol derivado de la fermentación de azúcares de diversas fuentes (maíz, caña, biomasa lignocelulósica) en un biocombustible mediante su deshidratación, oligomerización e hidrogenación. La gran ventaja de este proceso radica en que se pueden usar una gran cantidad de residuos agrícolas como materia prima. Sin embargo, el potencial de producir bioturbosina en grandes volúmenes es limitado, debido a las bajas conversiones de azúcares a alcoholes, además la economía del proceso depende de la fuente a partir de la cual se produce el alcohol. Por último, este proceso se caracteriza por altos consumos de agua en el proceso de conversión, el 67% de la energía y costos requeridos de este proceso se usan en la parte de fermentación y separación de los alcoholes[6].
- Fischer-Tropsch (FT): utiliza la síntesis Fischer-Tropsch para producir hidrocarburos de interés comercial a partir del gas de síntesis (mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno) que se obtiene de la gasificación de la biomasa. Es conocido por su versatilidad en el uso de materias primas. Una de sus principales fortalezas es su capacidad para producir una gran variedad de combustibles líquidos. Sin embargo, tiene un alto costo y baja eficiencia de conversión de biomasa a combustible. La bioturbosina producida por esta ruta tiende a ser de bajo peso molecular, lo que puede causar fugas en ciertos sistemas de combustible en aviones, siendo una limitante para su implementación. Además, el proceso requiere de altos

consumos energéticos para gasificar la biomasa. Por último, los catalizadores Fischer-Tropsch son sensibles a contaminantes e impurezas contenidas en el gas de síntesis, lo que causa problemas serios de operación y paro de planta[6].

Es importante mencionar que las limitantes de estos procesos hacen que no sean económicamente competitivos en comparación con el uso de turbosina convencional. Debido a esto, muchos de los esfuerzos en investigación se han centrado en aplicar estrategias para reducir los requerimientos energéticos y aumentar la eficiencia de conversión de materia prima a combustible, principalmente mediante la búsqueda de nuevos catalizadores y la mejora de los procesos ya existentes, así como la exploración de nuevas materias primas. Sin embargo, se ha relegado el desarrollo y la búsqueda de nuevas rutas y procesos alternativos de producción de bioturbosina[6,7].

En el caso particular de México, la Secretaría de Energía (SENER) y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) han determinado que, para reducir las emisiones en el sector aéreo y cumplir con los compromisos adquiridos por el Gobierno de México, es esencial reemplazar el 15% de la turbosina fósil con bioturbosina para 2030, el equivalente a 700 millones de litros[8]. Para cumplir estos objetivos, el gobierno ha impulsado investigaciones para producir bioturbosina en el país usando para esto los procesos ya existentes y materias primas endémicas. Sin embargo, la falta de viabilidad económica de estas tecnologías ha limitado la adopción de la bioturbosina[8,9]. A pesar de ello, se ha identificado que los residuos agrícolas lignocelulósicos son una materia prima prometedora si se desea producir este biocombustible a gran escala. Datos de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) muestran que anualmente se generan 586 millones de toneladas de residuos lignocelulósicos[10]. Sin embargo, solo el 5% de estos residuos se aprovecha, principalmente como alimento para ganado, y el resto es quemado en el campo de cultivo, lo que genera problemas medio ambientales, como incendios, además dichas quemas representan el 5% de las emisiones de CO₂ del país[10]. Es evidente que la reutilización de residuos agrícolas para producir productos de alto valor agregado ofrece importantes beneficios desde una perspectiva de economía circular, como la incorporación de estos desechos a una cadena económica, generación de ganancias para los agricultores por la venta de residuos, reducción de residuos tóxicos y de emisiones, y producción de biocombustibles y químicos renovables y ecológicos. Además, dichos residuos son económicos, ya que su costo está relacionado con su recolección; son abundantes y de fácil recolección; y no compiten con cultivos alimentarios, evitando dilemas éticos.

1.2 Nuevo proceso de Furanos a bioturbosina (FTJ):

En años recientes, los furanos, especialmente el furfural y el hidroximetilfurfural (HMF) han recibido especial atención como potenciales plataformas químicas para producir una amplia cartera de productos químicos y combustibles. El Laboratorio Nacional de Energía Renovable de EE.UU. (NREL) ha incluido a estos dos compuestos en la lista de los 30 principales químicos base obtenibles de biomasa que podrían competir con el petróleo[11,12]. Estos compuestos furánicos (furfural o 5-hidroximetilfurfural), se obtienen de los azúcares contenidos en las fracciones hemicelulosa y celulosa en la biomasa por hidrólisis y deshidratación catalizada por ácido de materias primas lignocelulósicas a temperaturas que varían entre 153°C a 240°C. Una vez producidos los furanos, estos pueden ser convertidos a combustibles mediante la formación de aductos mediante la condensación aldólica y la dimerización, seguidas de la hidredesoxigenación y una separación mediante destilación[13]. Diversos autores han planteado que esta ruta tiene diversas ventajas sobre tecnologías existentes, entre las que destacan:

- Al ser una ruta termoquímica, elimina la necesidad de reacciones microbiológicas para descomponer azúcares, no requiere del uso de solventes para extraer aceites, reduciendo tiempos de residencia, tamaño de equipos y teniendo mejores rendimientos[13].
- La materia prima principal en la producción de furanos son los residuos lignocelulósicos, que son baratos, abundantes y no compiten con los alimentos.
- Los rendimientos de biomasa a bioturbosina son altos en comparación con otras tecnologías como ATJ o Fischer-Tropsch.
- Las tecnologías usadas para la producción de furanos y su posterior conversión a biocombustibles están bien estudiadas e implementadas a nivel industrial[14].

- Otras materias primas necesarias para el proceso como la acetona se pueden obtener por procesos de fermentación ABE a partir de los azúcares residuales que no se hayan degradado[13].
- Permite un mejor aprovechamiento de las fracciones de la biomasa, lo que reduce su impacto ambiental e incrementa su sustentabilidad[15].
- La ruta produce tanto parafinas como isoparafinas lo cual ayuda a propiedades de la bioturbosina como densidad energética y punto de congelamiento. Este tipo de hidrocarburos está ausente en procesos como ATJ o FT, por lo que los combustibles producidos por esta ruta podrían no requerir mezclarse con turbosina fósil[15].
- Las requieren condiciones más bajas de presión y temperatura en comparación con las tecnologías existentes, lo que ayuda a reducir consumos energéticos, costos, impacto ambiental y mejorar la seguridad[15].

Es importante resaltar que, si bien se han planteado las posibles ventajas del proceso de furanos a bioturbosina y que se conocen las etapas de reacción, esta ruta de furanos todavía no ha sido estudiada a profundidad, y solo se tienen experimentos a nivel laboratorio de las etapas por separado de la ruta, por lo que se desconocen cuáles pueden ser sus desventajas a la hora de producir bioturbosina a escala industrial. Además, hay incertidumbres en cuanto a aspectos técnicos, como los métodos de separación, el diseño y tipo de reactores, las condiciones operativas, consumo de energía por litro de turbosina, problemas de operación debido a variabilidad y estacionalidad de la biomasa, entre otros[15]. Por lo tanto, es crucial determinar la viabilidad técnica y económica de esta ruta. Estas cuestiones pueden abordarse y resolverse mediante el diseño del proceso de producción de bioturbosina por la ruta de furanos. Sin embargo, diseñar este proceso es complejo debido a múltiples desafíos. Uno de los principales es la variabilidad en la composición y disponibilidad de la biomasa, que está influenciada por factores como el lugar de cosecha, la estacionalidad, el contenido nutricional del suelo, el clima y las decisiones de cultivo de los agricultores. Estos factores pueden causar dificultades para satisfacer la demanda de bioturbosina. A estas complicaciones se añaden otros retos como restricciones relacionadas con emisiones, uso de agua y suelo, variabilidad del mercado y demanda de la bioturbosina, así como el cumplimiento de las especificaciones del combustible para su uso en aviación, que están establecidas por los estándares ASTM[16].

1.3 Nueva perspectiva multi capa para el desarrollo de procesos sostenibles:

Dada la complejidad y las numerosas restricciones que implica un proceso de estas características, como lo es el proceso de furanos, es esencial adoptar estrategias innovadoras que consideren todas las cuestiones anteriormente comentadas. Gani et al.[17,18] proponen que, a medida que se incrementa la demanda por productos de alta calidad y ecológicos a costos reducidos, y que cumplan con una serie de restricciones de calidad y ambientales, un enfoque de diseño solo centrado en el proceso y su economía no es lo más adecuado, ya que puede dejar fuera muchas consideraciones vitales para la sostenibilidad y rentabilidad del proceso. Un claro ejemplo de esto es el proceso HEFA, que a pesar de tener buenos rendimientos y selectividades de bioturbosina, aspectos externos como la dificultad de obtener la materia prima y sus altos costes de generación de esta, afectan de manera importante aspectos económicos y ambientales del proceso, lo que termina generando que no sea económicamente viable, dificultando y retrasando la transición hacia combustibles verdes en la industria de la aviación[9,19]. Por lo tanto, Gani et al.,[17,18] propone un enfoque multi escala (capa) a fin de garantizar la sostenibilidad de los nuevos procesos.

Gani et al. [17,18] identifica 3 tipos de capas, las cuales están identificadas por la escala a la que se requieren datos necesarios para evaluar el proceso. La capa fundamental interna involucra actividades e información relacionada con el proceso-producto donde la aplicación de los conceptos fundamentales y típicos de ingeniería química ayudan a diseñar, construir y operar procesos de fabricación que convierten materias primas en productos deseados. La capa media de expansión involucra actividades relacionadas con la eficiencia en el uso de los recursos finitos con los que se cuenta, donde una mejor comprensión de los conceptos y la combinación de ciencia e ingeniería conducen al desarrollo de nuevas tecnologías que, cuando se aplican, resultan en soluciones de ingeniería más sostenibles. La capa unificadora externa involucra actividades que impactan los desafíos sociales, en esta capa se toma en cuenta no solo la gestión eficiente de recursos, sino también aspectos como su localización, tipo, demanda, disponibilidad, así como diferentes restricciones basadas en aspectos sociales, ambientales, entre otros. Por lo que, el estudio de esta capa es crucial para el desarrollo industrial sostenible, el cual, a su vez, conduce a una sociedad más sostenible. Así, a medida que se incrementa la demanda por

productos de alta calidad y ecológicos a costos reducidos, surge la necesidad de una integración más efectiva de las etapas operativas y capas que intervienen en su fabricación. Esto abre oportunidades para descubrir alternativas de procesos más innovadoras y eficientes, así como el diseño conjunto de materiales y productos, y herramientas centradas en la sostenibilidad. Para lograr estos nuevos procesos sostenibles, es necesario que su diseño considere información de las capas más externas y que dicha información pueda ser integrada en el mismo diseño. Para alcanzar esto, es necesario considerar aspectos del proceso en diferentes escalas, donde el uso de nuevas herramientas como la inteligencia artificial, "machine learning", "big data", "intensificación y optimización de procesos", "modelado de cadenas de suministro" y "control" juegan un papel fundamental, a fin de obtener procesos sostenibles y viables en el nuevo paradigma de economía circular [17,18].

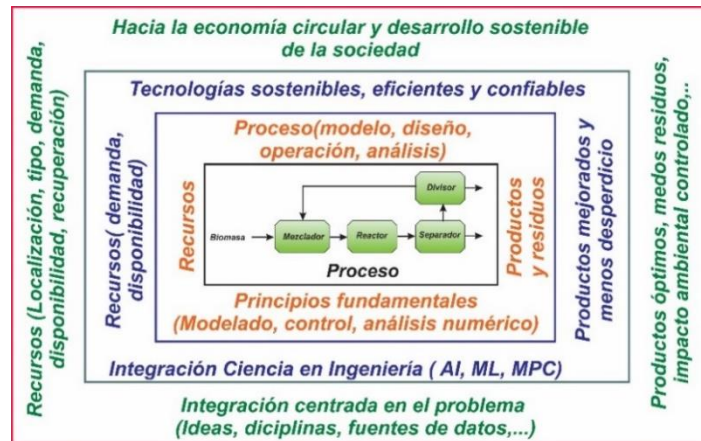


Figura 1. Perspectiva multicapa (escala) de la ingeniería de sistemas de proceso propuesta por Gani et al., [17].

En el escenario propuesto, el proyecto a considerar aborda una investigación sistemática centrada en el diseño, optimización y control de procesos intensificados con el objetivo de producir bioturbosina mediante la ruta de furanos. Como materia prima, se utilizarán los residuos lignocelulósicos agrícolas más abundantes en México los cuales son: olote de maíz, paja de trigo, bagazo de caña de azúcar y sorgo. Es esencial señalar que el proceso debe adherirse a una serie de requisitos y restricciones dictados por una perspectiva de economía circular. Estos requisitos incluyen la mínima generación de residuos, el aprovechamiento de desechos, el bajo consumo de energía y la viabilidad económica, entre otros [17,20]. Por lo tanto, el enfoque de este proyecto adoptará una perspectiva de diseño multicapa a fin de generar el proceso más sostenible posible. El proyecto se estructura en tres etapas, asignando un año para cada una:

1. Se modelará, simulará y optimizará un proceso convencional (sin intensificar) para producción de bioturbosina por ruta de furanos que cumpla con los estándares ASTM [16]. La optimización se llevará a cabo utilizando la técnica metaheurística de evolución diferencial con lista tabú (DETL). Las funciones objetivo previstas son la minimización del costo total anual, la minimización del Eco-Indicador 99 y la minimización del riesgo individual, las cuales evalúan factores económicos, ambientales y de seguridad, respectivamente. Estos criterios se seleccionaron en base a los doce principios de sostenibilidad que los procesos químicos deben tener dentro de un marco de economía circular, acorde con Jimenez-Gonzales [21]. Es importante mencionar que esta etapa también engloba la búsqueda de rutas de reacción, catalizadores y tecnologías necesarias, asimismo, contempla la colaboración con investigadores de la UAM, para diseño de catalizadores.
2. Se identificarán áreas de mejora en el proceso convencional para reducir costos, impacto ambiental y mejorar la seguridad del proceso mediante técnicas de intensificación, así mismo, esta etapa comprende la optimización de los procesos intensificados bajo las mismas métricas de sostenibilidad previamente estudiadas en el proceso convencional. En esta fase, también se comparará la eficiencia de esta tecnología frente a alternativas actuales como el proceso HEFA o ATJ, evaluando parámetros económicos y de emisión por litro de bioturbosina producida.
3. Se realizará un análisis de control en lazo cerrado, donde se implementarán controles proporcionales-integrales y se aplicarán técnicas de control predictivo por modelo (MPC). Además, se procederá con el modelado y optimización de la cadena de

suministro para el proceso de producción de bioturbosina mediante la ruta de furanos. Este análisis tiene como objetivo considerar el efecto de la variabilidad y estacionalidad de la materia prima en la operación del proceso y determinar la viabilidad de producir bioturbosina a gran escala para satisfacer la demanda real de aeropuertos. Este estudio también establecerá las bases para investigaciones futuras dirigidas hacia la industria 4.0, particularmente en aspectos relacionados con la digitalización y el smart manufacturing.

6. Justificación y planteamiento del problema

Hoy en día, la humanidad se enfrenta al reto de reemplazar las contaminantes fuentes de energía fósil por energías verdes, a fin de disminuir la emisión de gases de efecto invernadero y los efectos del cambio climático. En ese sentido, el sector del transporte, y más concretamente el sector de la aviación, ha promovido el uso en vuelos comerciales de combustibles renovables, con el objetivo de disminuir sus emisiones. El sector de la aviación es un ente clave en el desarrollo económico mundial y, cada año, genera 915 millones de toneladas de CO₂, lo que representa entre el 2 y 3% de las emisiones globales. Con miras a reducir estas emisiones, la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA) tiene el objetivo de disminuir sus emisiones en un 50% para 2050, mediante la transición gradual de turbosina fósil a bioturbosina en sus operaciones. Asimismo, México se ha comprometido a reemplazar el 15% de su turbosina fósil por bioturbosina para 2030 [4,22].

Si bien existen diferentes procesos para producir bioturbosina, como HEFA o ATJ, estos no son económicamente competitivos ni sustentables debido a los bajos rendimientos de bioturbosina, altos costos de separación, problemas asociados a los altos costes de recolección y obtención de materia prima [6,23]. Como consecuencia, el costo de producir bioturbosina por las rutas actuales es hasta seis veces superior en comparación con la turbosina fósil, además de la incertidumbre en su producción, obstaculizando la adopción de este biocombustible [6,23].

Actualmente, los esfuerzos de investigación referentes a la producción de bioturbosina se han enfocado en dos vertientes principales. La primera vertiente se ha centrado en la búsqueda de catalizadores eficientes con alta selectividad hacia bioturbosina, mientras que la segunda vertiente se centra en la búsqueda de nuevas materias primas y disminución del consumo energético de procesos de producción ya establecidos, como el proceso HEFA o el ATJ [6,23]. Sin embargo, la búsqueda de nuevos procesos y rutas alternativas de producción de bioturbosina se han dejado de lado. Por lo que el desarrollo del proceso intensificado para producción de bioturbosina a partir de furanos resulta ser sumamente novedoso y vanguardista. Además, este tipo de proyectos va acorde a las nuevas políticas públicas impulsadas por el gobierno de México en lo referente a temas de soberanía energética y cambio climático.

El diseño de este novedoso proceso de producción de bioturbosina, por ruta de furanos se pretende realizar dentro del contexto de la economía circular y sostenibilidad, en donde fundamental que las necesidades actuales de la industria, sociedad y medio ambiente orienten el diseño de procesos que potencien la eficiencia en el uso de recursos y reduzcan residuos y emisiones. Esta visión va más allá de buscar soluciones meramente rentables; se trata de asegurar una gestión adecuada de los recursos y establecer metas y soluciones que favorezcan tanto a la industria como a la sociedad, alineadas con estándares de calidad, como los establecidos por la ASTM[16]. Es crucial adoptar una metodología integral para este enfoque que integre objetivos económicos, medioambientales, de seguridad y control, así como aspectos macroescala como la disponibilidad, estacionalidad y variabilidad de las materias primas, así como las implicaciones sociales. Este enfoque innovador establece una nueva dirección en la investigación, consolidando este estudio como referencia en el ámbito

7. Hipótesis

Adoptando una perspectiva multicapa, en la que se integren técnicas de modelado, simulación, optimización y control de procesos, junto con modelado y optimización de la cadena de suministro para el proceso, se estima que es factible diseñar un proceso de producción de bioturbosina mediante la ruta de furanos, que sea más barato, seguro y con menor impacto ambiental, superando a tecnologías actuales, como el proceso HEFA y ATJ, a la par que cumpla con las especificaciones de producto ASTM que la industria aeronáutica exige. Asimismo, se podrán determinar esquemas de operación, calendarización y ubicación óptima de planta que

permitirá superar los problemas asociados a cuestiones de estacionalidad, disponibilidad y localización de materia prima, así como de otros recursos, determinando la factibilidad, logística, económica, ambiental y social del proceso propuesto, esenciales en un contexto de sostenibilidad y economía circular.

8. Objetivo General

Diseñar, mediante técnicas avanzadas de modelado, simulación, optimización y control, un proceso sostenible y rentable para la producción de bioturbosina a través de la ruta de furanos. Este diseño busca no solo superar en costos, seguridad y sostenibilidad a las tecnologías actuales como HEFA y ATJ, sino también cumplir con los estándares ASTM exigidos por la industria aeronáutica. Asimismo, mediante el diseño y optimización de la cadena de suministro del proceso determinar la factibilidad económica, ambiental y social del proceso propuesto y superar desafíos relacionados con la estacionalidad y disponibilidad de recursos.

9. Objetivos Específicos

- Identificar los residuos lignocelulósicos, catalizadores y tecnologías más prometedoras para la producción de bioturbosina.
- Diseñar y optimizar bajo indicadores económicos, ambientales y de seguridad un proceso convencional (sin intensificar) de producción de bioturbosina por la ruta de furanos, usando como materia prima los residuos lignocelulósicos más abundantes en México.
- Identificar posibles áreas de mejora en el proceso y aplicar técnicas de intensificación de procesos en dichas áreas.
- Optimizar un proceso o procesos intensificados, utilizando el método de evolución diferencial con lista tabú, considerando funciones objetivo de costo, impacto ambiental y seguridad.
- Comparar el mejor proceso por ruta de furanos en cuanto costos, impacto ambiental e índice de seguridad, con respecto a tecnologías actuales.
- Diseñar un sistema de control utilizando controladores proporcionales-integrales y control predictivo para el proceso o procesos intensificados de producción de bioturbosina por ruta de furanos que permita cumplir con las especificaciones de la bioturbosina establecidas por la ASTM.
- Modelar y optimizar la cadena de suministro considerando aspectos económicos, ambientales y sociales, a fin de determinar la factibilidad de reemplazar la turbosina fósil con bioturbosina, producida por el proceso de furanos.

6.1. Descripción general del proceso propuesto.

En esta sección, se ofrece una descripción detallada del proceso sugerido para la producción de bioturbosina a través de la ruta de furanos, detallando las etapas y equipos potenciales. Es crucial mencionar que el estudio abarca el diseño, simulación y optimización, utilizando herramientas computacionales como simuladores de procesos y lenguajes de programación, además de técnicas avanzadas de optimización, como la evolución diferencial con lista tabú. A pesar de que la literatura no proporciona un diagrama general para esta producción de bioturbosina por ruta de furanos, las etapas individuales, tales como la condensación aldólica e hidroximetilación, están extensamente documentadas[13,24]. Esto facilita la conceptualización de un diagrama preliminar del proceso. El diagrama proporcionado es, por ende, una representación general derivada del análisis y selección preliminar de las rutas de conversión disponibles para furanos. Es importante considerar que el diseño final podría variar según la tecnología, el catalizador o la biomasa seleccionada. Asimismo, es importante resaltar que el diseño y simulación de este proceso está pensado a fin de que el producto resultante sea capaz de cumplir con las especificaciones de bioturbosina exigidas por el estándar ASTM D7566-17[16], las cuales se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades la bioturbosina exigidas por la norma ASTM D7566[16].

Propiedad	Rango
Punto de ebullición (°C)	200-300
Densidad a 15°C (kg/m ³)	730-770
Punto de congelamiento máximo (°C)	-40
Relación H/C	>2

Para este trabajo, se han considerado como materia prima a los 4 residuos lignocelulósicos ricos en pentosas más abundantes producidos anualmente en México por la industria agrícola; estos residuos son rastrojo de maíz, paja de trigo, bagazo de sorgo y bagazo de caña de azúcar, de acuerdo a datos de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Se usarán los datos de disponibilidad anual y costos de los residuos reportados por SADER[10]. Por su parte, la Figura 2 detalla un posible diagrama de proceso convencional propuesto. Es crucial señalar que estas etapas son aplicables a todas las biomásas, variando únicamente en los requerimientos energéticos y dimensiones de los equipos según la biomasa empleada.

La producción de bioturbosina comienza con la transformación de azúcares de xilosa, presentes en la hemicelulosa de la biomasa, en furanos. Este proceso se lleva a cabo mediante un pretratamiento con soluciones ácidas, siendo el ácido sulfúrico el principal agente, resultando en la producción de furfural. Es esencial extraer rápidamente el furfural producido en el reactor de pretratamiento para prevenir su resignificación, por lo que se alimenta vapor de agua para removerlo por arrastre[25]. Dado que las fracciones de lignina y celulosa requieren condiciones más rigurosas y tiempos de residencia más prolongados para su degradación, una vez convertidos los azúcares de hemicelulosa en furfural, la celulosa y lignina son dirigidas a una fase de deshidratación, compuesta por dos reactores. En el primero de ellos, la glucosa de la celulosa se deshidrata, produciendo hidroximetilfurfural (HMF) bajo condiciones más ácidas y temperaturas elevadas que el reactor de pretratamiento. Tras la formación del HMF, el ácido se neutraliza con óxido de calcio. Los residuos, como las sales y la lignina, son separados mediante filtración[12]. El HMF y el furfural formados se introducen a un tren de destilación azeotrópica, donde subproductos como el metanol, ácido acético y agua son removidos, obteniéndose furanos con purezas altas. Es relevante destacar que estas fases pueden ser simuladas y modeladas empleando el modelo termodinámico Non-Random Two Liquids, junto con la ecuación de estado de Hayden-O'Connell (NRTL-HOC). Este modelo es apto debido a la posible formación de dos fases líquidas por la presencia de agua y productos orgánicos, así como la probable aparición de azeótropos. Además, facilita la predicción de solvatación y dimerización en fase gas en mezclas que contienen aldehídos como el furfural y el HMF[26].

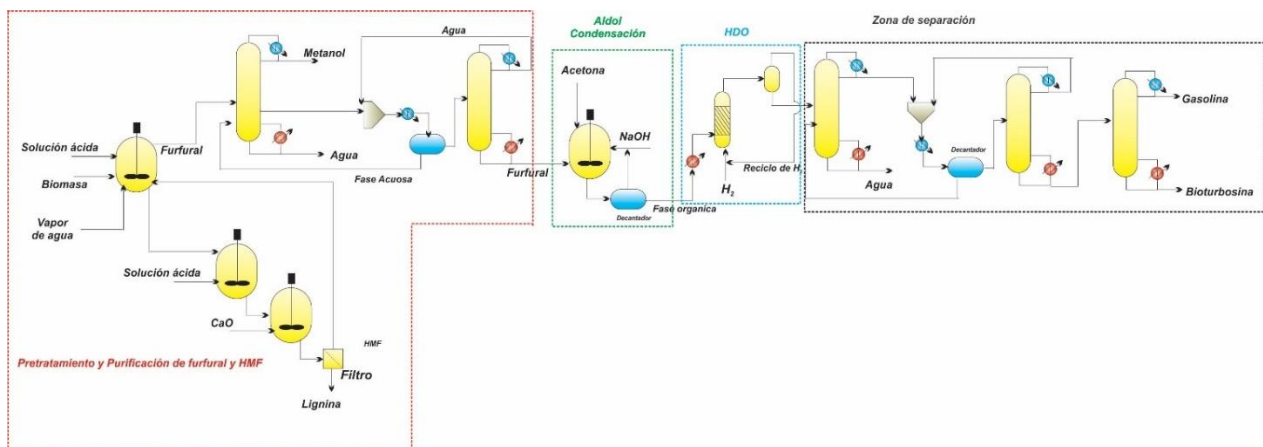


Figura 2. Diagrama de procesos propuesto

Tras describir la producción de furanos a partir de las fracciones de celulosa y hemicelulosa, se abordará la transformación de estos furanos en bioturbosina. El proceso comienza con la conversión de furfural y HMF en moléculas con una mayor cantidad de átomos de carbono. Esta fase del proceso empieza con una condensación aldólica en la cual los furanos se combinan con acetona y un catalizador para producir aductos de condensación aldólica como 4-(2-furil)-3-buten-2-ona (FA) y 1,4-pentadien-3-ona,1,5-di-2-furanil (FAF) en el caso de derivados del furfural y hidroximetil furfural -acetona (HA) y hidroximetil furfural-acetona-HMF (HAH) en el caso de derivados del HMF. Estas moléculas, que tienen 8, 14, 9 y 14 átomos de carbono respectivamente, por lo que son ideales para la producción de gasolinas y bioturbosina[27,28].

Existen varios catalizadores que, según la literatura, son adecuados para esta etapa de condensación aldólica. En el presente estudio, se optó por examinar el proceso utilizando tres diferentes catalizadores: dolomita, soluciones de hidróxido de sodio y 1,8-Diazabicyclo[5.4.0]undec-7-eno (DBU)[29,30]. Cabe destacar que, según investigaciones anteriores, estos catalizadores poseen rutas de reacción similares, pero varían en términos de las condiciones de reacción y la cantidad de acetona necesaria. Las reacciones químicas que se llevan a cabo en este proceso siguen una cinética elemental tipo Arrhenius. Los datos cinéticos para diferentes catalizadores han sido reportados por Faba et al.[27] por lo que dichos datos se usarán para el modelado y simulación de esta etapa del proceso. Es importante mencionar que en esta etapa se tiene contemplada la colaboración con investigadores de la UAM para el desarrollo, síntesis y prueba de catalizadores, en caso de ser posible.

Una vez obtenidos los aductos de la condensación aldólica, estos se precalientan y se alimentan en un reactor de lecho fijo para someterse a reacciones de Hidrodesoxigenación (HDO). El objetivo principal de la etapa HDO es eliminar el oxígeno de los productos de condensación aldólica, FA, FAF, HA y HAH. Esto se logra introduciendo hidrógeno, que reacciona para formar agua. Estas reacciones típicamente involucran el uso de catalizadores a base de metales como níquel, molibdeno, cobalto, entre otros, y se llevan a cabo bajo temperaturas medias a altas que varían entre 200-400°C y altas presiones dentro de 10-50 atm. Sin embargo, en este caso se consideró un catalizador Pt/Al₂O₃ para realizar la etapa HDO, debido a la mayor disponibilidad de datos en la literatura. Durante esta etapa, octanos (C8) y tridecanos (C13) son producidos, siendo estos la gasolina y el jet fuel, respectivamente[27]. Es importante resaltar que dichos compuestos ya cumplen con las especificaciones requeridas por la ASTM. Para este caso se piensan usar los datos cinéticos reportados por Faba et al. Considerando la condición del proceso y basándose en el algoritmo de Carlson, esta etapa puede ser modelada utilizando el modelo termodinámico Soave-Redlich-Kwong (SRK)[26]. Al igual que lo que ocurre en la sección de condensación aldólica, no se descarta colaboración con investigadores de la UAM para el desarrollo de catalizadores para HDO.

Tras el proceso de Hidrodesoxigenación (HDO), los productos resultantes se introducen en una etapa de purificación. Esta fase crucial implica la eliminación del hidrógeno restante y grandes cantidades de agua de los hidrocarburos, garantizando así la pureza del combustible requerida. La etapa de purificación comienza con un tanque flash diseñado para recuperar hidrógeno. Una vez eliminado el hidrógeno, la corriente de productos, ahora rica en hidrocarburos y agua, se alimenta en un sistema de destilación azeotrópica que también puede ser un sistema de destilación extractiva para una purificación adicional de los hidrocarburos. En este estudio, se ha fijado una pureza masiva del 99.95% en peso como pureza objetivo tanto para el octano como para el tridecano, de acuerdo a los estándares ASTM. Para esta sección se puede utilizar el modelo NRTL-RK para simular la destilación, debido a su capacidad para predecir la formación de azeótropos y el comportamiento de fase gaseosa no ideal[26].

6.2. Estrategia de optimización

Dada la situación económica, ambiental y de seguridad inherente a los procesos de producción de bioturbosina, es esencial que cualquier nueva propuesta demuestre ser económicamente sostenible, con un impacto ambiental mínimo y con altos estándares de seguridad. Estos criterios deben ser integrados desde las fases iniciales de diseño del proceso para lograr indicadores de sostenibilidad favorables. Es evidente que el dimensionamiento de cualquier equipo involucrado en la producción de bioturbosina abarca múltiples variables. Estas variables introducen grados de libertad, convirtiendo la situación en un problema matemático que puede ser optimizado. Sin embargo, la complejidad y alta no-linealidad de los modelos del proceso y los equipos, combinada con la potencial no convexidad, resultan en un desafío de optimización significativo. El diseño y optimización simultánea tiene el potencial de generar

mejoras significativas desde una perspectiva económica, siendo beneficiosas para la industria. Específicamente, la aplicación de algoritmos de optimización estocásticos ha demostrado ser eficiente para optimizar modelos de esta naturaleza, sin necesidad de modificar o simplificar el modelo original.

Un problema de optimización, en su esencia, es un dilema de toma de decisiones. Se busca determinar valores para un conjunto de variables basados en una función objetivo que cuantifica el rendimiento. Estos valores deben maximizar o minimizar la función objetivo, considerando a menudo ciertas restricciones que limitan las opciones. Es imperativo, antes de emplear conceptos matemáticos y técnicas de optimización, definir claramente qué se busca optimizar en contextos ingenieriles. En las secciones siguientes se hará una descripción breve de los objetivos a ser tomados en cuenta durante el proceso de optimización de las nuevas alternativas para producir bioturbosina por la ruta de furanos.

6.3. Función objetivo económica

Como parámetro para evaluar económicamente un proceso se seleccionó el costo total anual (TAC). Para calcular el TAC se utilizará el método Guthrie. Este método estima el costo de una planta industrial en unidades separadas mediante las ecuaciones publicadas por Turton et al[33]. El costo anual total (TAC) se calcula de acuerdo con la ecuación 1.

$$\text{Min}(TAC) = \frac{\text{Costos de Capital}}{\text{Periodo de Inversión}} + \text{Costo de operación} \quad (1)$$

Siendo el costo de capital, los gastos derivados de la adquisición de los equipos utilizados. Este costo depende tanto del material con el que están contruidos los equipos como de las condiciones operativas del proceso. En cuanto al periodo de inversión, se define como el lapso durante el cual se espera recuperar la inversión inicial; típicamente, este periodo oscila entre 3 y 10 años. Por último, los costos de operación engloban los gastos asociados al funcionamiento diario del proceso, tales como electricidad, vapor para calentamiento y agua de enfriamiento, entre otros. Es esencial considerar estos factores al evaluar la viabilidad económica de un proyecto.

6.4. Función objetivo ambiental.

Como función objetivo para cuantificar el impacto ambiental, se planea usar el mediante la utilización del eco-indicador 99 (EI99), una metodología de análisis del ciclo de vida propuesta por Goedkoop y Spriensma[34]. El EI99 calcula el daño al medio ambiente a partir de tres categorías principales: calidad del ecosistema, agotamiento de los recursos y salud humana. De manera matemática, el EI99 se define como:

$$\text{Min} (EI99) = \sum_b \sum_d \sum_{k \in K} \delta_d \omega_d \beta_b \alpha_{b,k} \quad (2)$$

Dónde β_b representa la cantidad total de producto químico b liberada por unidad de flujo de referencia debido a las emisiones directas, $\alpha_{b,k}$ es el daño causado en la categoría k por unidad de producto químico b liberada al medio ambiente, ω_d es un factor de ponderación para daños en la categoría d , y δ_d es el factor de normalización de los daños de categoría d . La evaluación del EI99 se llevará a cabo considerando una perspectiva jerárquica con el fin de lograr un equilibrio entre los efectos a corto y largo plazo sobre el medio ambiente. Los factores de ponderación considerados para las principales categorías de impacto, que son la salud humana, la calidad del ecosistema y el agotamiento de los recursos, acorde con lo reportado por Goedkoop y Spriensma. Esto es, los daños a la salud humana y al ecosistema se les da la misma importancia y se ponderan por igual, mientras que a los daños a los recursos se considera la mitad de importante.

6.5. Función objetivo de seguridad.

Para la evaluación de la seguridad, se optó por el índice de riesgo individual (IR). El IR representa la frecuencia con la que una persona puede sufrir o verse afectada por un accidente[35]. El riesgo individual es independiente del número de personas expuestas, ya que cuantifica la probabilidad del daño en función de la distancia entre el epicentro del accidente y la ubicación de una víctima. Matemáticamente, el riesgo individual puede expresarse como sigue:

$$IR = \sum f_i P_{x,y} \quad (3)$$

Donde f_i es la frecuencias de ocurrencia de un incidente i , mientras $P_{x,y}$ es la probabilidad de afectación causada por el incidente i . Para calcular el IR, se utiliza el Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR), una metodología dirigida a identificar y cuantificar potenciales incidentes

El cálculo de la probabilidad de afectación $P_{x,y}$ se realiza mediante una evaluación de las consecuencias, donde se determinan las variables físicas (tales como radiación térmica, sobrepresión y concentración de fugas) de cada posible accidente y sus daños asociados. Para el cálculo de estas variables físicas se pretende usar las ecuaciones reportadas por el CCPS. Se emplearán modelos probit para relacionar los valores de las variables físicas con los daños causados a una persona. En este trabajo, el daño considerado es la muerte de una persona, que puede ser causada por emisiones de tóxicos, explosiones o incendios. Las ecuaciones probit que correlacionan la muerte con la radiación térmica ($teEr$) y la sobrepresión debida a las explosiones (p°) se proporcionan en las ecuaciones 4 y 5 respectivamente.

$$Y = -14.9 + 2.56 \ln \left(\frac{t_e E_r^{\frac{4}{3}}}{10^4} \right) \quad (4)$$

$$Y = -77.1 + 6.91 \ln (p^\circ) \quad (5)$$

Todos los cálculos se realizarán considerando 50 m como distancia representativa. La probabilidad ($P_{x,y}$) que se calcula mediante la sustitución del valor probit en la siguiente ecuación:

$$P_{x,y} = 0.5 \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{Y-5}{\sqrt{2}} \right) \right] \quad (6)$$

6.6. Planteamiento del problema de optimización y método de optimización

Bajo este escenario, las nuevas alternativas pueden ser sujetas a una optimización multi-objetivo teniendo como objetivo la minimización del costo total anual (TAC), del impacto ambiental medido a través del Eco-indicador 99 y la seguridad inherente del proceso. La minimización de esos 3 objetivos está sujeta a las purezas requeridas y recuperaciones en cada corriente de producto. De tal forma que la función a optimizar puede ser descrita como sigue:

$$\operatorname{Min} (TAC, Eco\ 99, IR) = f(N_{tn}, N_{fn}, R_{rn}, F_{rn}, F_{ln}, F_{vn}, D_{cn}, C_{in}, C_{op}, L, Cat) \quad (7)$$

$$\text{Sujeto a } \vec{y}_m \geq \vec{x}_m$$

Donde N_m es el número total de etapas teóricas, N_{fn} es la etapa de alimentación de las columnas, R_{rn} es la relación de reflujo, F_{rn} es el flujo de destilado, F_{ln} es el líquido en las corrientes de interconexión, F_{vn} es el vapor en las corrientes de interconexión, D_{cn} el diámetro de columna y reactores, C_{in} la especies químicas involucradas y C_{op} las condiciones de operativas del proceso, L tamaño de los reactores, Cat , cantidad de catalizador (kg); y_m y x_m son los vectores de puntos de ebullición y recuperaciones para los m_m componentes respectivamente.

Particularmente, el diseño y optimización de rutas de proceso de este tipo es un problema multi-variable, altamente no lineal y potencialmente no convexo, además de presentar variables continuas y discretas. De igual forma, las funciones objetivo usadas como función objetivo son potencialmente no convexas con posible presencia de óptimos locales y sujetas a varias restricciones. Así, para optimizar las alternativas propuestas puede utilizarse un algoritmo híbrido de optimización estocástica, Evolución Diferencial con Lista Tabú (DETL). Este método usa algunos conceptos metaheurísticos de la lista Tabú que pueden mejorar el desempeño del algoritmo clásico de Evolución Diferencial (DE). En particular, la Lista Tabú (TL) evita visitar espacios de búsqueda, manteniendo un registro de los puntos visitados. Una descripción más completa del método puede ser encontrada en el trabajo propuesto por Srinivas y Rangaiah[36]. La implementación de este método de optimización se realiza mediante una plataforma híbrida utilizando Microsoft Excel y un simulador de procesos. El algoritmo de optimización está implementado en Excel a través de su interfaz de programación visual basic. El vector de variables de decisión (es decir, las variables de diseño) se envían de Microsoft Excel hacia Aspen Plus, donde se resuelven los modelos rigurosos del proceso de producción de bioturbotina. Una vez que el simulador obtiene una solución de las ecuaciones, retorna sus resultados a Excel. Finalmente, Microsoft Excel analiza los valores de la función objetivo y propone nuevos valores de variables de decisión de acuerdo con el método de optimización estocástica utilizado, en esquema de la interfaz propuesta se muestra en la Figura 5. Los parámetros del algoritmo de optimización empleados para resolver este tipo de problemas son los siguientes: 200 individuos como generación inicial, 300 generaciones, una lista tabú del 50 % del total de individuos, un radio de Tabú de 0.0000025, así como 0.80 y 0.6 para el factor de cruza y fracciones de mutación, respectivamente[31].

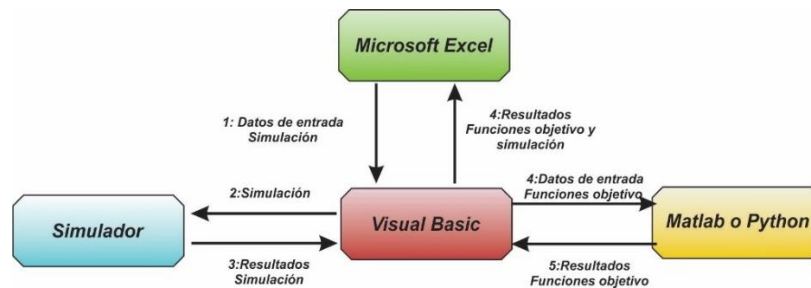


Figura 5. Plataforma a utilizar en optimización global multi-objetivo.

7. Cronograma de actividades.

Descripción de Actividad	Fecha de inicio	Fecha de fin	Producto esperado
Simular y diseñar las diferentes etapas del proceso convencional FTJ (sin intensificar)	05-03-2024	01-06-2024	Se habrá diseño y simulado las etapas del proceso FTJ, con una capacidad para abastecer el aeropuerto de ciudad de México. teniendo como resultado la primera simulación y consumos energéticos del proceso.
Evaluar el costo anual total, impacto ambiental y seguridad el proceso sin intensificar.	01-06-2024	1-07-2024	Al terminar esta fase se habrá determinado el costo del proceso, se tendrá un puntaje de impacto ambiental y de seguridad. Los cuales servirán para determinar el grado de mejora de la optimización.

Escribir y enviar un artículo científico para su revisión en revista indexada, con las propuestas de los procesos	01-07-2024	01-08-2024	Se habrá mandado para su revisión un artículo en revista indexada con los resultados del costo, impacto ambiental y seguridad del nuevo proceso propuesto.
Optimizar el proceso convencional usando el algoritmo de evolución diferencial con lista tabú (DETL)	01-08-2024	1-09-2024	Se habrán optimizado el proceso bajos los indicadores de seguridad. Impacto ambiental y costo. Los resultados de la optimización se contrastarán con los del modelo sin optimizar.
Escribir y enviar un artículo científico para su revisión en revista indexada, con los resultados de las optimizaciones.	01-09-2024	01-10-2024	Se habrá mandado para su revisión un artículo en revista indexada con los resultados de las optimizaciones de los procesos intensificados y convencional.
Generar y simular las alternativas intensificadas propuestas en este proyecto.	01-11-2024	1-03-2024	Se contará con las simulaciones de los procesos intensificados propuestos en este proyecto.

Bibliografía

- [1] Conacyt, Programas Nacionales Estratégicos (Energía y Cambio Climático), (n.d.). <https://conacyt.mx/pronaces/pronaces-energia-y-cambio-climatico/> (accessed August 2, 2022).
- [2] U.S. Department of Energy, The Role of Fossil Energy and Carbon Management in Achieving Net-Zero Greenhouse Gas Emissions, 2022. <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/79444-8.pdf>.
- [3] International Air Transport Association (IATA), Air Passenger Numbers to Recover in 2024, (2022). <https://www.iata.org/en/pressroom/2022-releases/2022-03-01-01/> (accessed August 1, 2022).
- [4] I.R.E.A. (IRENA), Reaching Zero With Renewables BIOJET FUELS, 2021. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jul/IRENA_Reaching_Zero_Biojet_Fuels_2021.pdf.
- [5] A.G. Romero-Izquierdo, F.I. Gómez-Castro, C. Gutiérrez-Antonio, S. Hernández, M. Errico, Intensification of the alcohol-to-jet process to produce renewable aviation fuel, *Chem. Eng. Process. - Process Intensif.* 160 (2021) 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2020.108270>.
- [6] C. Gutiérrez-Antonio, F.I. Gómez-Castro, J.A. de Lira-Flores, S. Hernández, A review on the production processes of renewable jet fuel, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 79 (2017) 709–729. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.108>.
- [7] H. Wei, W. Liu, X. Chen, Q. Yang, J. Li, H. Chen, Renewable bio-jet fuel production for aviation: A review, *Fuel.* 254 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.06.007>.
- [8] Secretaría de Energía (SENER), Mapa de Ruta Tecnológica Bioturbosina, 2017. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/324219/MRT_Bioturbosina_Final.pdf.
- [9] Secretaría de Energía (SENER), Reporte de Inteligencia Tecnológica BIOTURBOSINA, 2020.
- [10] Ministry of rural development, SADER, (2019).
- [11] National Renewable Energy Laboratory (NREL), NREL, (2004). <https://www.nrel.gov/docs/fy04osti/35523.pdf>.
- [12] B. Klein, I. Mcnamara, R. Davis, A. Mittal, D. Johnson, B. Klein, I. Mcnamara, R. Davis, A. Mittal, D. Johnson, Techno-Economic Assessment for the Production of Hydrocarbon Fuels via Catalytic Upgrading of Furans Techno-Economic Assessment for the Production of Hydrocarbon Fuels via Catalytic Upgrading of Furans, (2021).
- [13] H. Olcay, R. Malina, A.A. Upadhye, J.I. Hileman, G.W. Huber, S.R.H. Barrett, Techno-economic and environmental evaluation of producing chemicals and drop-in aviation biofuels via aqueous phase processing, *Energy Environ. Sci.* 11 (2018) 2085–2101. <https://doi.org/10.1039/c7ee03557h>.
- [14] J. Yang, N. Li, S. Li, W. Wang, L. Li, A. Wang, X. Wang, Y. Cong, T. Zhang, Synthesis of diesel and jet fuel range alkanes with furfural and ketones from lignocellulose under solvent free conditions, *Green Chem.* 16 (2014) 4879–4884. <https://doi.org/10.1039/c4gc01314j>.
- [15] Q. Zhang, J. Xiao, J. Hao, Q. Wu, G. Song, Energy and exergy analyses of bio-jet fuel production from full components in lignocellulosic biomass via aqueous-phase conversion, *Appl. Therm. Eng.* 201 (2022) 117723. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.117723>.
- [16] ASTM, Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons, *Annu. B. ASTM Stand.* 7 (2017) 1–16. <https://doi.org/10.1520/D7566-21.operated>.
- [17] R. Gani, J. Baldyga, B. Biscans, E. Brunazzi, J.C. Charpentier, E. Drioli, H. Feise, A. Furlong, K.M. Van Geem, J.C. de Hemptinne, A.J.B. ten Kate, G.M. Kontogeorgis, F. Manenti, G.B. Marin, S.S. Mansouri, P.M. Piccione, A. Povoia, M.A. Rodrigo, B. Sarup, E. Sorensen, I.A. Udugama, J.M. Woodley, A multi-layered view of chemical and biochemical engineering, *Chem. Eng. Res. Des.* 155 (2020) 133–145. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2020.01.008>.
- [18] E.N. Pistikopoulos, A. Barbosa-Povoia, J.H. Lee, R. Misener, A. Mitsos, G. V. Reklaitis, V. Venkatasubramanian, F. You, R. Gani, Process systems engineering – The generation next?, *Comput. Chem. Eng.* 147 (2021) 107252. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2021.107252>.
- [19] C. Gutiérrez-Antonio, F.I. Gómez-Castro, S. Hernández, A. Briones-Ramírez, Intensification of a hydrotreating process to produce biojet fuel using thermally coupled distillation, *Chem. Eng. Process. Process Intensif.* 88 (2015) 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2014.12.002>.
- [20] W.R. Stahel, The circular economy, *Nature.* 531 (2016) 435–438. <https://doi.org/10.1038/531435a>.
- [21] C. Jiménez-González, D.J. Constable, *Green chemistry and engineering: a practical design approach*, John Wiley & Sons, 1-680, 2011.
- [22] I.A.T.A. (IATA), Annual Review 2022, 219AD.
- [23] J. Yang, Z. Xin, Q. (Sophia) He, K. Corscadden, H. Niu, An overview on performance characteristics of bio-jet fuels, *Fuel.* 237 (2019) 916–936. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.10.079>.
- [24] L. ping Li, Z. Fang, X. Kong, W.J. Cong, Synthesis of jet fuel intermediates via aldol condensation of biomass-derived furfural with lanthanide catalyst, *Mol. Catal.* 515 (2021) 111893. <https://doi.org/10.1016/j.mcat.2021.111893>.

- [25] G. Contreras-Zarazúa, M. Martín-Martín, E. Sánchez-Ramírez, J.G. Segovia-Hernández, Furfural production from agricultural residues using different intensified separation and pretreatment alternatives. Economic and environmental assessment, *Chem. Eng. Process. - Process Intensif.* (2021). <https://doi.org/10.1016/j.cep.2021.108569>.
- [26] E.C. Carlson, Don't Gamble With Physical Properties For Simulations, *Chem. Eng. Prog.* (1996) 35–46. <http://www.cchem.berkeley.edu/cbe150b/docs/VLE/Guidelines.pdf>.
- [27] L. Faba, E. Díaz, S. Ordóñez, Hydrodeoxygenation of acetone-furfural condensation adducts over alumina-supported noble metal catalysts, *Appl. Catal. B Environ.* 160–161 (2014) 436–444. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2014.05.053>.
- [28] B.Y. Yu, C.C. Tsai, Rigorous simulation and techno-economic analysis of a bio-jet-fuel intermediate production process with various integration strategies, *Chem. Eng. Res. Des.* 159 (2020) 47–65. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2020.03.012>.
- [29] C. Jiang, L. Cheng, G. Cheng, Kinetics of Aldol Condensation of Furfural with Acetone Catalyzed by 1,8-Diazabicyclo[5.4.0]undec-7-ene, *J. Mater. Sci. Chem. Eng.* 06 (2018) 65–73. <https://doi.org/10.4236/msce.2018.62005>.
- [30] X. Cui, X. Zhao, D. Liu, A novel route for the flexible preparation of hydrocarbon jet fuels from biomass-based platform chemicals: A case of using furfural and 2,3-butanediol as feedstocks, *Green Chem.* 20 (2018) 2018–2026. <https://doi.org/10.1039/c8gc00292d>.
- [31] G. Contreras-Zarazúa, E. Sánchez-Ramírez, J.A. Vázquez-Castillo, J.M. Ponce-Ortega, M. Errico, A.A. Kiss, J.G. Segovia-Hernández, Inherently Safer Design and Optimization of Intensified Separation Processes for Furfural Production, *Ind. Eng. Chem. Res.* 58 (2019). <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.8b03646>.
- [32] M. Errico, B.G. Rong, G. Tola, I. Turunen, A method for systematic synthesis of multicomponent distillation systems with less than N-1 columns, *Chem. Eng. Process. Process Intensif.* 48 (2009) 907–920. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2008.12.005>.
- [33] R. Turton, R.C. Bailie, W.B. Whiting, J.A. Shaeiwitz, *Analysis, synthesis and design of chemical processes*, Pearson Education., 1-1200, 2018.
- [34] M. Goedkoop, R. Spriensma, *The Eco-indicator 99 - A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment*, Assessment. (2001) 144.
- [35] C.F.C.P. SAFETY(CCPS), *GUIDELINES FOR Chemical Process Quantitative Risk Analysis*, 2000.
- [36] S. Sharma, G.P. Rangaiah, An improved multi-objective differential evolution with a termination criterion for optimizing chemical processes, *Comput. Chem. Eng.* 56 (2013) 155–173. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2013.05.004>.



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA – *Iztapalapa*

División de Ciencias Básicas e Ingeniería

Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica

Ciudad de México, a 6 de febrero del 2024

Dr. RODOLFO VÁZQUEZ RODRÍGUEZ

Jefe del Departamento de IPH

P R E S E N T E





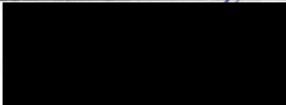
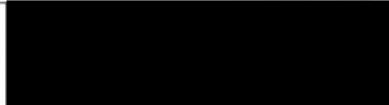

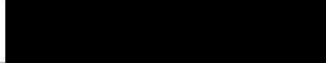

Por este conducto me permito informarle que el pasado martes 30 de enero del año en curso a las 14h se realizó una junta del Área de Ingeniería Química (AIQ), para seleccionar al candidato a ocupar una plaza de Profesor Visitante a partir del próximo trimestre 24-I que empieza el 5 de marzo del presente año. De manera colegiada, los profesores abajo firmantes del AIQ apoyaron la contratación por un año como Profesor Visitante al Dr. Gabriel Contreras Zarazúa. Con base en lo anterior, adjunto a la presente carta el expediente del Dr. Gabriel para la correspondiente contratación.

Le agradezco de antemano la atención brindada.

Atentamente

Dra. Ariadna Alicia Morales Pérez
Jefa del Área de Ingeniería Química

Apoyo para la contratación del Dr. Gabriel Contreras Zarazúa como PV

	Nombre	Firma
1	Álvarez Calderón Jesús (JAC)	
2	Álvarez Ramírez José de Jesús (JJAR)	
3	Ávila Paredes Hugo Joaquín (HJAP)	
4	Castillo Araiza Carlos Omar (COCA)	
5	De los Reyes Heredia José Antonio (JARH)	
6	Fuentes Zurita Gustavo Ariel (GAFZ)	
7	Gómez Torres Sergio Antonio (SAGT)	
8	Lapidus Lavine Gretchen Terri (GTLL)	
9	Lobo Oehmichen Ricardo (RLO)	
10	López Isunza Felipe (FLI)	
11	Martínez Vera Carlos (CMV)	
12	Morales Pérez Ariadna Alicia (AAMP)	
13	Ochoa Tapia Jesús Alberto (JAOT)	
14	Ramos Sánchez Guadalupe (GSR)	
15	Ruíz Martínez Richard Steve (RSRM)	
16	Vernon Carter Jaime Eduardo (JEVC)	
17	Viveros García Tomás (TVG)	
18	Vizcarra Mendoza Mario (MVM)	

Gabriel Contreras Zarazúa

Doctor en Ingeniería Química (Especialidad en diseño, optimización y control de procesos intensificados)

- [Redacted]
- **Edad:** [Redacted]
- **Teléfono / celular:** 4 [Redacted]
- **E-mail:** [Redacted]@ugto.mx; [Redacted]@hotmail.com
- **Google académico:**
<https://scholar.google.es/citations?user=ffcSvk0AAAAJ&hl=es>
- **SNI: Nivel 1 de Enero de 2022 a 31 de Diciembre 2026**

- **Línea de investigación**

Mi enfoque de investigación se centra en el diseño y optimización simultánea de procesos intensificados para la generación de productos de gran valor agregado, tomando en cuenta diversas métricas de sostenibilidad. Asimismo, mi línea de investigación aborda desde control de procesos usando machine learning, así como diseño de cadena de suministro.

- **Educación**

Licenciatura

Licenciatura en Ingeniería Química en la Universidad de Guanajuato de 2009 2014.

Titulación por proyecto de tesis titulado "Reducción de emisiones de CO2 en destilación extractiva". Defensa de tesis: 27 de Agosto del 2014. Obteniendo el reconocimiento de trabajo de titulación laureado.

Maestría

Maestría en ingeniería Química (Integración de Procesos) en la Universidad de Guanajuato de 2014 a 2016

Titulación por proyecto de tesis titulado "Optimización multivariable de un proceso basado en destilación reactiva para la producción de Difenil Carbonato" Defensa de tesis: 19 de Agosto de 2016.

Doctorado

Doctorado en Ciencias en Ingeniería Química en la Universidad de Guanajuato de 2016 a 2020.

Titulación por proyecto de tesis titulado "Design and Optimization of a Biorefinery and Supply Chain for Furfural Production Considering Mexico's Lignocellulosic Residues." Defensa de tesis: 21 de Septiembre 2020. Obteniendo el Reconocimiento Summa Cumme Laude (Mención de máximos honores).

- **Estancias de investigación en el extranjero**

Estancia Doctoral en la Universidad de Salamanca, España

Estancia Realizada del 1 Julio 2018 al 15 de Enero 2019.

Proyecto realizado bajo la tutoría del Dr. Mariano Martin Martin, Profesor investigador de la Universidad de Salamanca. Correo electrónico: mariano.m3@usal.es

Título del proyecto: Diseño de procesos de producción de furfural a partir de residuos lignocelulósicos de México.

Estancia Doctoral en la Universidad de Salamanca, España

Estancia Realizada del 3 Julio 2019 al 15 de Enero 2020.

Proyecto realizado bajo la tutoría del Dr. Mariano Martin Martin, Profesor investigador de la Universidad de Salamanca. Correo electrónico: mariano.m3@usal.es

Título del proyecto: Diseño de la cadena de suministro óptima para la producción de furfural.

- **Estancia Posdoctoral**

Conacyt-CIATEC A.C. (Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas) del 01 de Octubre de 2021 a 31 de Enero 2023.

Título del proyecto: Control Predictivo de una Columna de Destilación Reactiva para la Producción de Bioturbosina.

El proyecto está incorporado al proyecto “Modelado y Optimización de Sistemas Intensificados para la Producción de Bioturbosina a través de alcoholes de forma sustentable” con clave A1-S-40629. El cual es un proyecto de ciencia básica patrocinado por Conacyt, con un presupuesto de \$3,350,000.00

- **Proyectos de Vinculación con sectores productivos**

Diseño y construcción de un desalinizador para producir agua potable en comunidades rurales (2021 a 2023). Este proyecto se está realizando en colaboración con gobierno del estado de Guanajuato a través de su fondo mentefactura 2021 modalidad conexión internacional. En este proyecto he trabajado como colaborador usando técnicas de simulación computacional y optimización, para el diseño del desalinizador. Así mismo, he trabajado activamente en la del prototipo del destilador a escala completa, para producción de agua potable en comunidades rurales marginadas. El proyecto contó con un presupuesto \$1,500,000.00.

Evaluación de la planificación integrada de la infra estructura hídrica de comunidades rurales utilizando indicadores socio económicos y ambientales (2021-a 2023). Este proyecto se realizó en colaboración con gobierno del estado de Guanajuato a través de su fondo mentefactura 2021 modalidad ciencia productiva. En este proyecto, he colaborado activamente en la optimización usando métricas de equidad social, para la distribución equitativa del agua en comunidades rurales usando la infraestructura actual. El objetivo de este trabajo es reducir consumos energéticos y gastos por bombeo en las comunidades rurales. Esta reducción debe lograrse a la par que se asegura una distribución equitativa de agua para consumo humano y riego en campo. El proyecto contó con un presupuesto \$138,500.00.

- **Proyectos de Vinculación con sectores productivos**

Modelado y Optimización de Sistemas Intensificados para la Producción de Bioturbosina a través de alcoholes de forma sustentable con clave A1-S-40629 con un apoyo de \$3,350,000.00. En este proyecto se ha trabajado activamente como colaborador en la optimización y control predictivo de procesos intensificados de destilación reactiva para producción de bioturbosina. Así mismo, se ha trabajado en el diseño y optimización de una cadena de suministro para producción de bioturbosina por la ruta ATJ, resultado en un trabajo de titulación de maestría.

- **Experiencia Docente**

Profesor de la Catedra de Química General: Licenciatura en Ingeniería Civil de Enero 2017 a Julio 2019 en la División de Ingenierías de la Universidad de Guanajuato, campus Guanajuato.

Profesor de la Catedra de Cálculo de Varias Variables: Licenciatura en Ingeniería Química de Enero 2019 a Julio 2019 en la División de Ciencias Naturales y Exactas de la Universidad de Guanajuato, Campus Guanajuato.

Profesor de la Catedra de Ingeniería de Reactores: Licenciatura en Ingeniería Química de Agosto 2020 a Julio 2021 en la División de Ciencias Naturales y Exactas de la Universidad de Guanajuato, Campus Guanajuato.

Profesor de la Catedra de Físicoquímica II: Licenciatura en Ingeniería Química de Enero 2022 a Diciembre 2023 en la División de Ciencias Naturales y Exactas de la Universidad de Guanajuato, Campus Guanajuato.

Profesor de la Catedra de Operación y seguridad de Procesos: Licenciatura en Ingeniería Química de Agosto 2022 a la Diciembre 2023, en la División de Ciencias Naturales y Exactas de la Universidad de Guanajuato, Campus Guanajuato.

- **Cursos impartidos**

Análisis Cuantitativo de Riesgo (ACR) en Procesos Químicos. Curso impartido en el Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC A.C.), con valor curricular de 30 horas. Curso impartido del 20 al 24 de Junio 2022

- **Publicaciones científicas**

Año 2017

Contreras-Zarazúa, G., Vázquez-Castillo, J. A., Ramírez-Márquez, C., Pontis, G. A., Segovia-Hernández, J. G., & Alcántara-Ávila, J. R. (2017). Comparison of intensified reactive distillation configurations for the synthesis of diphenyl carbonate. *Energy*, 135, 637-649.

Contreras-Zarazúa, G., Vázquez-Castillo, J. A., Ramírez-Márquez, C., Segovia-Hernández, J. G., & Alcántara-Ávila, J. R. (2017). Multi-objective optimization involving cost and control properties in reactive distillation processes to produce diphenyl carbonate. *Computers & Chemical Engineering*, 105, 185-196.

Año 2018

Contreras-Zarazúa, G., Sánchez-Ramírez, E., Vazquez-Castillo, J. A., Ponce-Ortega, J. M., Errico, M., Kiss, A. A., & Segovia-Hernández, J. G. (2018). Inherently safer design and optimization of intensified separation processes for furfural production. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 58(15), 6105-6120.

Sánchez-Ramírez, E., Ramírez-Márquez, C., Quiroz-Ramírez, J. J., Contreras-Zarazúa, G., Segovia-Hernández, J. G., & Cervantes-Jauregui, J. A. (2018). Reactive distillation column design for tetraethoxysilane (TEOS) production: Economic and environmental aspects. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 57(14), 5024-5034

Año 2019

Contreras-Zarazúa, G., Villicaña-García, E., Cansino-Loeza, B., Vázquez-Castillo, J. A., Ponce-Ortega, J. M., & Segovia-Hernández, J. G. (2019). Environmental impact and occupational hazard evaluation on intensified processes to produce diphenyl carbonate. *Computers & Chemical Engineering*, 122, 19-30.

Vázquez-Castillo, J. A., Contreras-Zarazúa, G., Segovia-Hernández, J. G., & Kiss, A. A. (2019). Optimally designed reactive distillation processes for eco-efficient production of ethyl levulinate. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 94(7), 2131-2140.

Sánchez-Ramírez, E., Quiroz-Ramírez, J. J., Hernández, S., Hernández, J. G. S., Contreras-Zarazúa, G., & Ramírez-Márquez, C. (2019). Synthesis, design, and optimization of alternatives to purify 2, 3-Butanediol considering economic, environmental and safety issues. *Sustainable Production and Consumption*, 17, 282-295.

Ramírez-Márquez, C., Contreras-Zarazúa, G., Martín, M., & Segovia-Hernández, J. G. (2019). Safety, Economic, and Environmental Optimization Applied to Three Processes for the Production of Solar-Grade Silicon. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 7(5), 5355-5366.

Ramírez-Márquez, C., Contreras-Zarazúa, G., Vázquez-Castillo, J. A., López-Caamal, F., Hernández-Escoto, H., Alcántara-Ávila, J. R., & Segovia-Hernández, J. G. (2019). Operability and Proportional Integral Control of Reactive Distillation Configurations. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 58(39), 18267-18279.

Año 2020

Torres-Vinces, L., Contreras-Zarazua, G., Huerta-Rosas, B., Sánchez-Ramírez, E., & Segovia-Hernández, J. G. (2020). Methyl Ethyl Ketone Production through an Intensified Process. *Chemical Engineering & Technology*.

Romero-García, A. G., Prado-Rúbio, O. A., Contreras-Zarazúa, G., Ramírez-Márquez, C., Ramírez-Prado, J. H., & Segovia-Hernández, J. G. (2020). Simultaneous Design and Controllability Optimization for the Reaction Zone for Furfural Bioproduction. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 59(36), 15990-16003.

Año 2021

Sánchez-Ramírez, E., Quiroz-Ramírez, J. J., Contreras-Zarazua, G., Hernández-Castro, S., Alcocer-García, H., & Segovia-Hernández, J. G. (2021). Intensified alternative to purify methyl-Ethyl ketone in a framework of green process. *Energy*, 220, 119641.

Contreras-Zarazúa, G., Jasso-Villegas, M. E., Ramírez-Márquez, C., Sánchez-Ramírez, E., Vázquez-Castillo, J. A., & Segovia-Hernandez, J. G. (2021). Design and intensification of distillation processes for furfural and co-products purification considering economic, environmental, safety and control issues. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 159, 108218.

Contreras-Zarazúa, G., Martin, M., Ponce-Ortega, J. M., & Segovia-Hernández, J. G. (2021). Sustainable Design of an Optimal Supply Chain for Furfural Production from Agricultural Wastes. *Industrial & Engineering Chemistry Research*.

Año 2022

Contreras-Zarazúa, G., Martin-Martin, M., Sánchez-Ramirez, E., & Segovia-Hernández, J. G. (2022). Furfural Production from Agricultural Residues Using Different Intensified Separation and Pretreatment Alternatives. Economic and Environmental Assessment. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 108569.

Juárez-García, M., Contreras-Zarazúa, G., Segovia-Hernández, J. G., & Ponce-Ortega, J. M. (2022). Sustainable Carbon-Hydrogen-Oxygen symbiosis networks: Intensifying separation sections. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 109092.

Amezquita-Ortiz, J. M., Alcocer-Garcia, H., Contreras-Zarazua, G., Fontalvo, J., & Segovia-Hernandez, J. G. (2022). Sustainable Process Design for Acetone Purification Produced via Dehydrogenation of 2-Propanol. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 61(10), 3660-3671.

Sánchez-Ramírez, E., Huerta-Rosas, B., Quiroz-Ramírez, J. J., Suárez-Toriello, V. A., Contreras-Zarazua, G., & Segovia-Hernández, J. G. (2022). Optimization-based framework for modeling and kinetic parameter estimation. *Chemical Engineering Research and Design*, 186, 647-660.

Flores-Cordero, E., Sánchez-Ramírez, E., Contreras-Zarazúa, G., Ramírez-Márquez, C., & Segovia-Hernández, J. G. (2022). Purification of Butanol from the ABE Mixture: Effect of Intensification on the Dynamic Behavior. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 61(49), 17963-17975.

Kong, Z. Y., Zarazúa, G. C., Lee, H. Y., Chua, J., Segovia-Hernández, J. G., & Sunarso, J. (2022). Design of novel side-stream hybrid reactive-extractive distillation for sustainable ternary separation of THF/ethanol/water using mixed entrainer. *Process Safety and Environmental Protection*, 166, 574-588.

Año 2023

Segovia-Hernández, J. G., Contreras-Zarazúa, G., & Ramírez-Márquez, C. (2023). Sustainable design of water-energy-food nexus: A literature review. *RSC Sustainability*.

Villareal-Hernández, A. C., Ramírez-Mendiola, M. D., Quiroz-Ramírez, J. J., Sánchez-Ramírez, E., Huerta-Rosas, B., Contreras-Zarazua, G., & Segovia-Hernández, J. G. (2023). Intensification of the Oligomerization and Hydrogenation Stage for Biojet Fuel Production: Preliminary Outlines. *Industrial & Engineering Chemistry Research*.

Contreras-Zarazúa, G., Sánchez-Ramirez, E., Hernández-Vargas, E. A., Segovia-Hernández, J. G., & Ramírez, J. J. Q. (2023). Process intensification in bio-jet fuel production: Design and control of a catalytic reactive distillation column for oligomerization. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 193, 109548.

Año 2024

Juárez-García, M., Segovia-Hernández, J. G., Ponce-Ortega, J. M., & Contreras-Zarazúa, G. (2024). Controllability evaluation of the separation zones of a Carbon-Hydrogen-Oxygen Symbiosis Network through the SVD technique: conventional and intensified options. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 109695.

Avilés-Martínez, A., Patiño-Herrera, R., Cruz-Valdez, J. A., Contreras-Zarazúa, G., Rodríguez-Olalde, N. E., & Castro-Montoya, A. J. Production of gasohol by azeotropic distillation. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*.

- **Publicaciones científicas**

Capítulos de libros

Año 2017

Aguilera, A. F., Alopaeus, V., Christensen, L. P., Contreras-Zarazúa, G., Errico, M., Feng, X., ... & Leveneur, S. (2017). *Process Synthesis and Process Intensification: Methodological Approaches*. Walter de Gruyter GmbH & Co KG.

Sánchez-Ramírez, E., Quiroz-Ramírez, J. J., Ramírez-Márquez, C., Contreras-Zarazúa, G., Segovia-Hernández, J. G., & Bonilla-Petriciolet, A. (2017). Optimization of Intensified Separation Processes using Differential Evolution with Tabu List. *Differential Evolution In Chemical Engineering: Developments And Applications*, 6, 260.

Año 2022

Contreras-Zarazúa, G., Segovia-Hernández, J. G., & Hernández-Castro, S. (2022). Basic concepts and elements in the design of thermally coupled distillation systems. In *Sustainable Design for Renewable Processes* (pp. 283-322). Elsevier.

Flores-Cordero, E., Sánchez-Ramírez, E., Contreras-Zarazúa, G., Ramírez-Márquez, C., & Segovia-Hernández, J. G. (2022). Control properties of intensified distillation processes: Biobutanol purification. In *Biofuels and Biorefining* (pp. 273-292). Elsevier.

Sánchez-Ramírez, E., Contreras-Zarazúa, G., Romero-García, A. G., Huerta-Rosas, B., Quiroz-Ramírez, J. J., & Segovia-Hernández, J. G. (2022). Production of methyl ethyl ketone applying process intensification strategies. In *Innovations in Fermentation and Phytopharmaceutical Technologies* (pp. 295-313). Elsevier.

Libros

Sánchez-Ramírez, E., Ramírez-Márquez, C., Contreras-Zarazúa, G., Segovia-Hernández, J. G. (2021.) *Improvements in Bio-Based Building Blocks Production Through Process Intensification and Sustainability Concept*. Elsevier. Paperback ISBN: 9780323898706

- **Número de citas e índice h**

Actualmente mis productos científicos cuentan con alrededor de 357 citas de acuerdo a SCOPUS y con alrededor de 194 de acuerdo a Google Académico lo que me hace acreedor a un índice h=12.

- **Participación en eventos académicos**

Ponente en Congresos Nacionales

I Simposio de Optimización Aplicada a la Ingeniería Química (II SOAIQ) Trabajo Presentado: Optimización de una columna destilación catalítica, para producción de bioturbosina considerado aspectos económicos y de control. Congreso Virtual Mayo 2022

I Simposio de Optimización Aplicada a la Ingeniería Química (II SOAIQ) Trabajo Presentado: Diseño y optimización de una cadena de suministro sustentable para la producción de furfural partir de residuos agroindustriales. Congreso Virtual Mayo 2022

XLI Encuentro de la Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química (AMIDIQ). Trabajo Presentado: "Análisis Tecno-económico y ambiental de una biorrefinería para la producción de furfural, considerando diferentes tecnologías y biomásas. Congreso Virtual Octubre 2020

XL Encuentro de la Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química (AMIDIQ). Trabajo presentado: "Diseño de procesos Inherentemente Seguros para la Purificación de Furfural: Comparación Entre Destilación Extractiva y Azeotrópica". (Huatulco, Oax., México, Mayo del 2019).

XL Encuentro de la Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química (AMIDIQ). Trabajo presentado: "Análisis del Control en Esquemas Optimizados para la Purificación de Ácido Levulínico". (Huatulco, Oax., México, Mayo del 2019).

XL Encuentro de la Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química (AMIDIQ). Trabajo presentado: "Optimización Simultanea de los Parámetros de Diseño y Control para la Zona de Reacción en la Producción de Furfural". (Huatulco, Oax., México, Mayo del 2019).

XXXVIII Encuentro de la Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química (AMIDIQ). Trabajo presentado: "Nuevos Procesos de destilación reactiva para la producción de difenil carbonato. Optimización multiobjetivo involucrando criterios de costo y controlabilidad". (Ixtapa Zihuatanejo, Gro., México, Mayo del 2017).

XXXVI Encuentro Nacional de la Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química (AMIDIQ) del 6 al 9 de Mayo de 2015. Cancún, Quintana Roo, México.

Ponente en Congresos Internacionales

XXXI European Symposium on Computer Aided Process Engineering (ESCAPE). Trabajo presentado: "Improvements in Methyl Ethyl Ketone Production Through Intensified Processes". (Congreso Virtual, Julio 2021).

XXXI European Symposium on Computer Aided Process Engineering (ESCAPE). Trabajo presentado: "Optimal Supply Chain for Renewable Furfural Production Involving Economic, Environmental and Social Criteria". (Congreso Virtual, Julio 2021).

XXX European Symposium on Computer Aided Process Engineering (ESCAPE). Trabajo presentado: "Synthesis and Optimization of a Furfural Production Process. A case Study of Mexico Considering Different Lignocellulosic Feedstocks". (Congreso Virtual, Julio 2020).

XXIX European Symposium on Computer Aided Process Engineering (ESCAPE). Trabajo presentado: "Heat-Integrated Reactive distillation processes to produce Ethyl Levulinate: Design and Optimization including Environmental, Safety and Economics Aspects". (Eindhoven, Holanda, Junio del 2019).

XXIX European Symposium on Computer Aided Process Engineering (ESCAPE). Trabajo presentado: "Design and Optimization of Azeotropic and Extractive Distillation to Purify Furfural Considering Safety, Environmental and Economic Issues". (Eindhoven, Holanda, Junio del 2019).

XXIX European Symposium on Computer Aided Process Engineering (ESCAPE). Trabajo presentado: "Simultaneous Design and Controllability Optimization for the Reaction Zone for Furfural Bioproduction". (Eindhoven, Holanda, Junio del 2019).

XXVIII European Symposium on Computer Aided Process Engineering (ESCAPE). Trabajo presentado: "Processes Separation to Furfural, Design and Optimization Involving Economical, Environmental and Safety Criteria". (Graz, Austria, Junio del 2018).

XXVII European Symposium on Computer Aided Process Engineering (ESCAPE). Trabajo presentado: "Novel Reactive Distillation Processes to produce Diphenyl Carbonate: Multi-Objective Optimization involving Cost and Controllability Criteria". (Barcelona, España, Octubre del 2017).

10th World Congress of Chemical Engineering. Trabajo presentado: "Novel Reactive Distillation Processes to produce Diphenyl Carbonate: Multi-Objective Optimization involving Cost and Controllability Criteria". (Barcelona, España, Octubre del 2017).

Organización de Congresos Nacionales

Miembro del staff de organización del XXXV encuentro nacional de la Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química (AMIDIQ). Puerto Vallarta, Jalisco México. Mayo 2014.

Miembro del staff de organización del XXXIX encuentro nacional de la Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química (AMIDIQ). Los Cabos, Baja California. Mayo 2018.

- **Tesis dirigidas**

Tesis de licenciaturas terminadas y presentadas.

Miriam Esmeralda Jasso Villegas. Título de la tesis: Diseño de sistemas intensificados de separación para la purificación de furfural. Tesis defendida el 15 de Noviembre de 2018. Alumna aprobada por unanimidad de votos

Jonathan Martín Amézquita Ortiz. Título de la tesis: Diseño de un proceso sostenible para la producción de acetona vía deshidrogenación de 2-propanol. Tesis defendida el 19 de noviembre de 2021. Alumno aprobado por unanimidad de votos con reconocimiento de titulación laureado

Tesis de maestría terminadas y presentadas.

Ana Gabriela Romero García. Título de la tesis: Optimización de la Zona de Reacción en el Proceso de Producción de Furfural a Partir de Biomasa . Tesis defendida el 19 de Enero de 2019. Alumna aprobada por unanimidad de votos

David Vallejo Blancas. Título del proyecto: Diseño y Optimización de una Cadena de Suministro para la Producción de Bioturbosina mediante el Proceso ATJ, considerando el Impacto Ambiental y Social . Proyecto Realizado en colaboración con el Dr. Eduardo Sánchez Ramírez, profesor investigador de la Universidad de Guanajuato. Datos de Contacto del Dr. Eduardo: sanchez.ramirez.eduardo@gmail.com

Tesis de Doctorado en proceso.

Ivan Fernando Hernández Araujo. Título del proyecto: Nuevo enfoque de optimización para el diseño integrado y Operación de manufactura inteligente en Procesos químicos intensificados. Proyecto Realizado en colaboración el Dr. Juan José Quiroz Ramírez profesor investigador del Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC). Datos de Contacto del Dr. Quiroz: jjqr111@hotmail.com

Publicación en revistas con arbitraje de tesis asesorada

Romero-García, A. G., Prado-Rúbio, O. A., Contreras-Zarazúa, G., Ramírez-Márquez, C., Ramírez-Prado, J. H., & Segovia-Hernández, J. G. (2020). Simultaneous Design and Controllability Optimization for the Reaction Zone for Furfural Bioproduction. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 59(36), 15990-16003.

Amezquita-Ortiz, J. M., Alcocer-Garcia, H., Contreras-Zarazua, G., Fontalvo, J., & Segovia-Hernandez, J. G. (2022). Sustainable Process Design for Acetone Purification Produced via Dehydrogenation of 2-Propanol. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 61(10), 3660-3671.

- **Premios y reconocimientos**

Miembro del sistema Nacional de Investigadores Nivel 1. De 01 de Enero 2022 al 31 de Diciembre 2024

Reconocimiento de tesis Laureada de Licenciatura Proyecto de tesis realizado "Reducción de emisiones de CO2 en destilación extractiva". Defensa de tesis: 27 de Agosto del 2014.

Reconocimiento Summa Cumme Laude a tesis de Doctorado (Distinción de Máximos Honores). Proyecto de tesis realizado: "Design and Optimization of a Biorefinery and Supply Chain for Furfural Production Considering Mexico's Lignocellulosic Residues." Defensa de tesis: 21 de Septiembre 2020.

En base a mi experiencia en Intensificación de Procesos soy revisor de la prestigiada revista: Chemical Engineering and Processing- Process Intensification y Chemical Engineering research and Design (CHERD)

Segundo lugar en el Concurso Sustainable Aviation Fuels México 2023, celebrado el 26 de abril de 2023, con el proyecto: "Producción sostenible de biocombustibles y productos de valor agregado a partir de biomasa en el estado de Guanajuato; una oportunidad de inversión verde". El reconocimiento fue otorgado por la Alianza Estratégica SAF México que incluye a COMEA, AIRBUS, FEMIA, IATA, CANAERO, ICSA México, Volaris, Viva Aerobus, Aeromexico y Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA).

- **Patentes**

Solicitud de patente denominada "Proceso para la producción de metiletilcetona en un equipo de reacción-separación", ingresada el 6 de noviembre del 2020 al Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) con número de solicitud MX/a/2020/011925.