

Aprovechamiento de residuos lignocelulósicos para la obtención de bio-productos de alto valor agregado.

José Luis Solís Sánchez¹, Erick Samuel Vázquez Silva¹, Andrea Enríquez Salmerón¹, Juan Carlos Padilla Valtierra¹, Martín Flores Juanto¹, Darlen Mejía Piceno², Eduardo Sánchez Ramírez¹

¹ Universidad de Guanajuato, Campus Guanajuato, División de Ciencias Naturales y Exactas, Departamento de Ingeniería Química, S/N Col. Noria Alta, Guanajuato, México 36050.

² Universidad de Guanajuato, Campus Guanajuato, División de Ciencias Sociales y Humanidades, Departamento de Educación, S/N Col. Yerbabuena, Guanajuato, México 36250.

jl.solissanchez@ugto.mx¹, es.vazquezsilva@ugto.mx¹, a.enriquezsalmeron@ugto.mx¹, jc.padillavaltierra@ugto.mx¹, m.floresjuanto@ugto.mx¹, d.mejiapiceno@correo.mx², eduardo.sanchez@ugto.mx

Resumen

Las biorrefinerías son la alternativa renovable a las refinerías de petróleo. Estas biorrefinerías utilizan biomasa (cultivos, hierba, residuos agrícolas, madera y residuos municipales) como materia prima de carbono renovable para producir principalmente biocombustibles (etanol, biodiésel, biogasolina, hidrógeno, metano) y productos químicos (adhesivos, revestimientos, papel, polímeros). Carbohidratos de cinco y seis carbonos presentes en la biomasa lignocelulósica puede sufrir reacciones de deshidratación selectiva, hidrogenación y oxidación para dar productos de alto valor agregado como sorbitol, furfural, ácido glucárico, hidroximetilfurfural y ácido levulínico.

Alternativas se han propuesto para el uso de biomasa como energía o biocombustibles. Sin embargo, la producción de productos de alto valor agregado es una alternativa menos estudiada, pero igualmente viable. Por tanto, en este trabajo nos enfocamos en la búsqueda de procesos para la producción del Metiltetrahydrofurano mediante dos rutas de producción. Además, se muestra un breve análisis de como la integración de estas tecnologías se puede transversalizar con la educación y la sustentabilidad.

Palabras clave: Biorrefinería, Metiltetrahydrofurano, sustentabilidad

Aplicaciones del metiltetrahydrofurano

En los últimos años el interés hacia el Metiltetrahydrofurano (MTHF) ha aumentado ya que además de tener la capacidad ser obtenido a través de fuentes renovables, posee propiedades que lo convierten en un compuesto atractivo en distintos campos. En trabajos anteriores¹ se ha reportado que las principales características que hacen destacar a este compuesto respecto de sus similares van desde su baja miscibilidad con el agua, su punto de ebullición, su comportamiento como una base de Lewis fuerte y su gran estabilidad en medios ácidos.

Las características antes mencionadas hacen de este, un compuesto con grandes aplicaciones teniendo potencial como aditivo de combustible renovable ya que de acuerdo con Christensen et. Al.² basándose en las especificaciones de la Sociedad americana para pruebas y materiales para combustibles usados en motores de combustión interna, se concluyó que, en comparación al etanol, el Metiltetrahydrofurano tiene mejores propiedades de combustión debido a su baja solubilidad en agua, calor de vaporización, porcentaje de oxígeno, permitiendo así mezclarse con la gasolina hasta en un 70%.

Por otro lado, se ha reportado que el Metiltetrahydrofurano es utilizado como solvente en distintos procesos químicos como reacciones organometálicas y bifásicas ya que, por sus propiedades, se logra la simplificación de estos procesos. Tales procesos son según el trabajo reportado por Aycock.³ la posibilidad de usar MTHF como solvente en reacciones de Grignard reemplazando a su similar tetrahydrofurano ya que se observa que los rendimientos usando ambos compuestos son similares sin embargo se destaca que el MTHF ofrece buenos rendimientos para reactivos de Grignard de bencilo y alílicos. Además, se ha demostrado alta reactividad en su uso como solvente en reacciones bifásicas siendo un buen reemplazo del diclorometano.

Finalmente, un aspecto por resaltar es que de acuerdo con Pace et al.⁴ además de las distintas aplicaciones en el área de la química orgánica, este compuesto puede ser degradado abióticamente por la luz del sol y el aire evitando así generar desechos peligrosos para el ambiente.

Producción de MTHF a partir de furfural

En la actualidad se sabe de dos procesos distintos a partir de los cuales se puede producir MTHF, uno basado en la hidrogenación y posterior hidroxigenación del furfural; y otro en la deshidratación e hidrogenación del ácido levulínico. En la siguiente imagen se muestra el proceso para la obtención de MTHF donde se puede apreciar cómo se llevan a cabo las reacciones de hidrogenación de los compuestos además de la hidroxigenación presente en la segunda reacción. Así mismo, basándonos en el trabajo de Liu et al. ¹, obtuvimos los valores de selectividad de los distintos productos, Tabla 1.

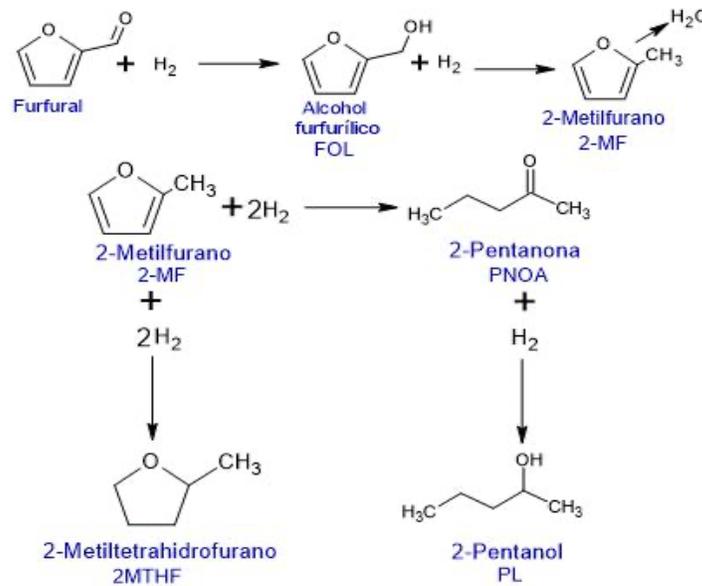


Figura 1. Esquema de reacciones para producción MTHF.

Tabla 1. Selectividad en los productos

Entrada	Salida	Selectividad
Furfural	2MTHF	.873
H_2	2MF	.061
	PL	.049
	FOL	.017
	PNOA	

Basándonos en estas selectividades se estimaron los parámetros cinéticos y se simuló en Aspen plus V11. La simulación consta de una parte reactiva donde se produce el MTHF a partir de Furfural y una parte de separación donde se purifica el MTHF. Se propusieron dos diseños:

Diseño 1. Consta de un reactor y una columna de separación, Figura 2. Por la columna de separación por la corriente del domo se obtiene un flujo de MTHF a una pureza del 93%, esto debido a que el MF es más volátil y se encuentra también en esa columna, si se deseara llegar a una mayor pureza sería necesario el colocar una columna extra de separación.

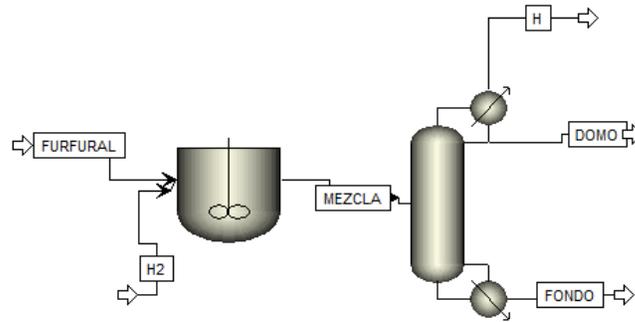


Figura 2. Diseño 1 para la producción y purificación de MTHF.

Diseño 2. Consta de un reactor y dos columnas de separación, Figura 3. El objetivo de este diseño es obtener con mayor pureza el MTHF.

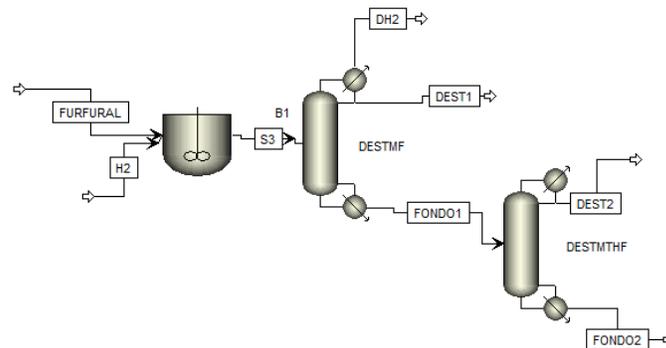


Figura 3. Diseño 2 para la producción y purificación de MTHF.

Resultados

En las Figuras 4 y 5 se muestran los resultados de purezas alcanzadas y cargas térmicas de ambos diseños. Se puede apreciar que, aunque en el diseño 2 se añadió una segunda columna la pureza del MTHF disminuye esto debido a que se forma un azeótropo con el agua, por lo que la separación del MTHF es mejor utilizando una sola columna. En tanto al consumo energético el segundo diseño tiene un aumento casi al doble esto debido al azeótropo. Para aumentar la pureza se podría implementar una segunda columna para purificar la corriente de domo que sale en el primer diseño.

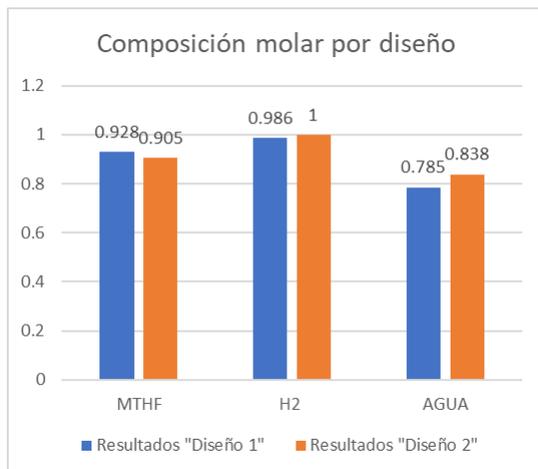


Figura 4. Comparación en composiciones molares

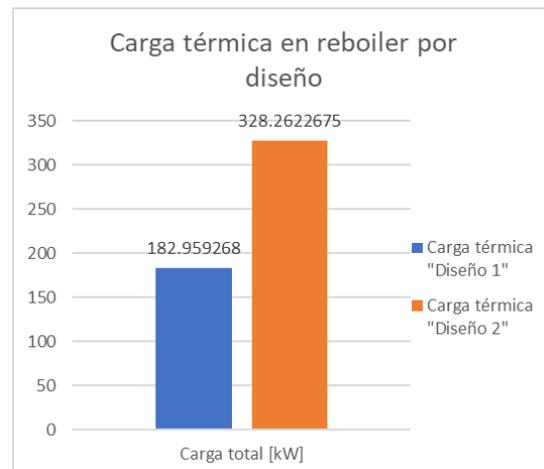


Figura 5. Comparación de cargas térmicas.

Producción de MTHF a partir de xilosa

El mecanismo de síntesis del furfural a partir de biomasa lignocelulósica es descrito por Metkar, et al. (2014)⁵, el cual se puede observar en la Figura 6 A partir del polímero de hemicelulosa, se lleva a cabo una hidrólisis con el fin de obtener la xilosa la cual es el reactivo principal para sintetizar el furfural.

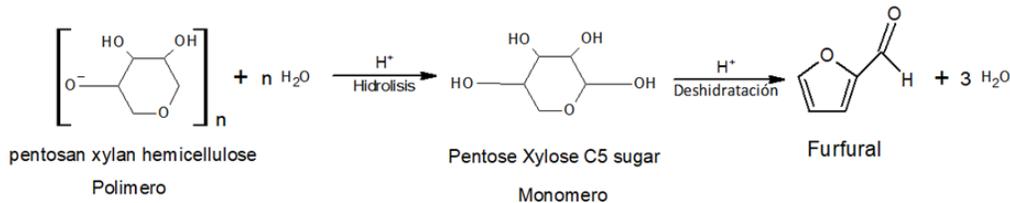


Figura 6. Síntesis de furfural a partir de xilosa.

De esta manera, el trabajo de investigación se centró en la reproducción de la reacción anterior en un proceso productivo ya reportado, añadir el proceso de producción de MTHF y entonces, implementar técnicas de intensificación de procesos a fin de obtener ahorros y las mejores condiciones finales de los productos planteados.

Metodología de diseño:

Se comenzó el diseño del proceso teniendo como base lo reportado por Wiranarongkorn, et al. (2021), donde se permite obtener furfural en altas concentraciones ⁶. Primero, se realizó en Aspen Plus una réplica del modelo anteriormente mencionado, procediendo a implementar el diseño de producción y purificación de metiltetrahidrofurano, previamente mostrado en la Figura 2, dando como resultado el diseño convencional, Figura 7.

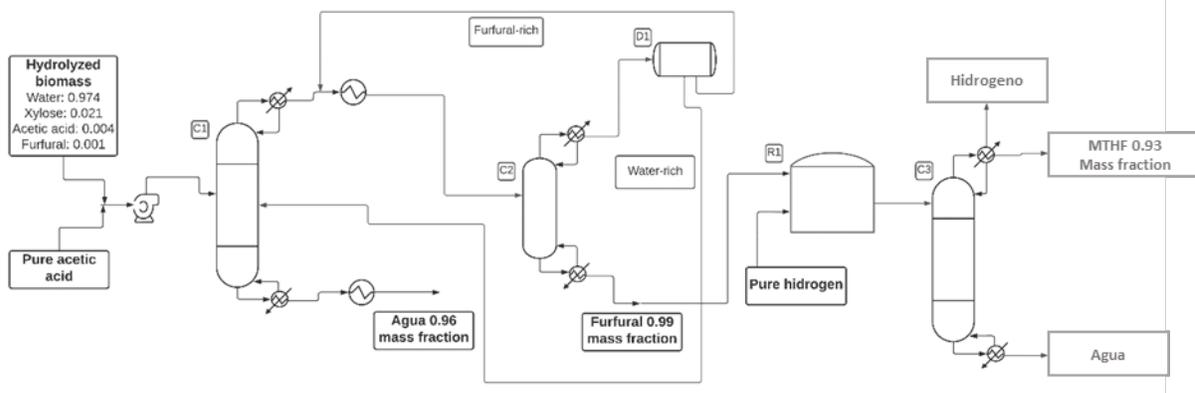


Figura 7. Esquema para la producción de metiltetrahidrofurano a partir de xilosa convencional.

Una vez completo el primer diseño, se procedió a realizar un térmico en C2 (Figura 8), lo cual permite no tener que utilizar un condensador manteniendo las concentraciones iniciales y finales, obteniendo furfural de alta pureza y posteriormente metiltetrahidrofurano. Lo anterior se realiza conectando D1 de tal forma que ahora este equipo es el encargado de alimentar a C2 con la corriente rica en furfural a la vez que se utiliza una salida lateral de vapor de C1 la cual entrara una etapa arriba del líquido proveniente de D1, de esta forma se suministra el calor necesario para que el líquido se evapore y salga en forma de gas por la parte superior de C2.

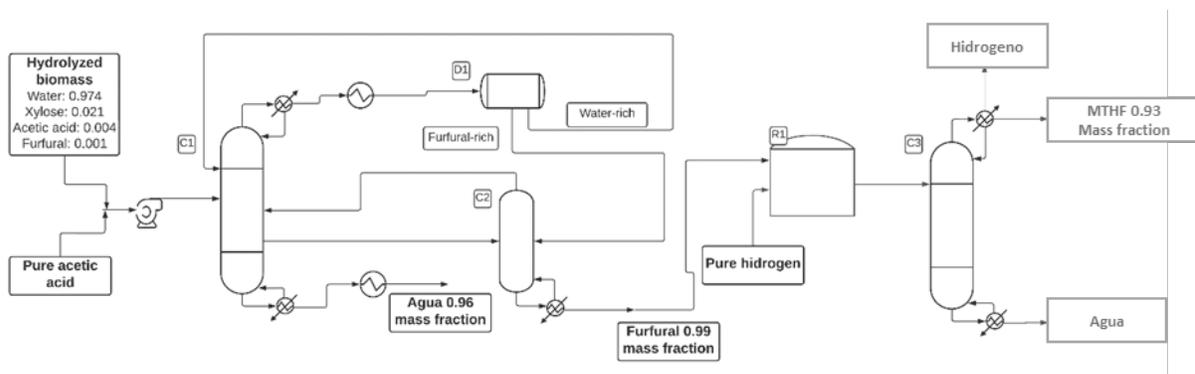


Figura 8. Esquema térmicamente acoplado para la producción de metiltetrahidrofurano a partir de xilosa.

El segundo rediseño de proceso planteado (Figura 9) es un esquema con reacondicionado que permite tratar la columna reactiva como una columna de pared divisoria azeotrópica.

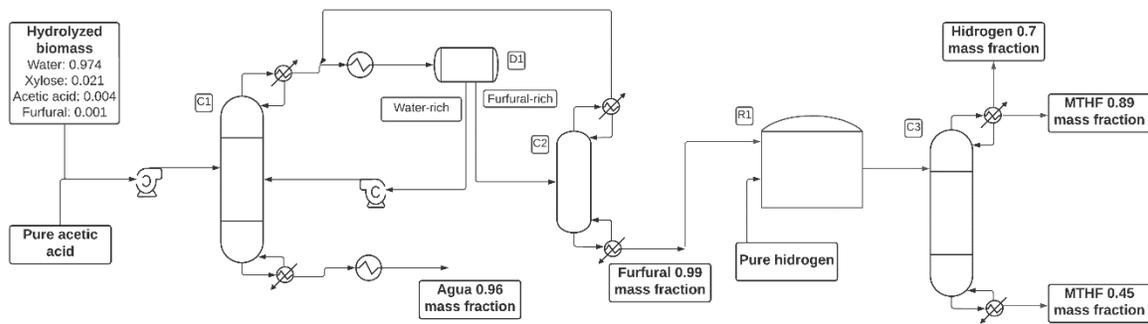


Figura 9. Esquema para la producción de metiltetrahidrofurano a partir de furfural empleando destilación reactiva azeotrópica.

Una vez obtenidos los diseños se procedió a realizar una optimización estocástica utilizando el método de evolución diferencial con lista tabú. Debido a la complejidad de este, durante el desarrollo de este verano, se definieron las variables, así como las funciones objetivo.

Algoritmo de optimización

El método de evolución diferencial con tabla tabú (DETL) fue propuesto por Srinivas y Rangaiah ⁷. Es el resultado de combinar dos métodos estocásticos. La optimización estocástica se basa en probar diferentes soluciones para las variables de decisión y evaluar la función objetivo para cada uno de los puntos hasta encontrar la solución más apropiada. Por lo tanto, a diferencia de los métodos determinísticos, en donde la solución obtenida es global, en los métodos estocásticos es posible encontrar el óptimo global. Se espera que esa solución sea un mínimo o un máximo de la función, o por el contrario este lo suficientemente cercana a ella. La Figura 10 muestra un algoritmo propuesto por Ponsich & Coello (2013) del método DETL para optimización ⁸.

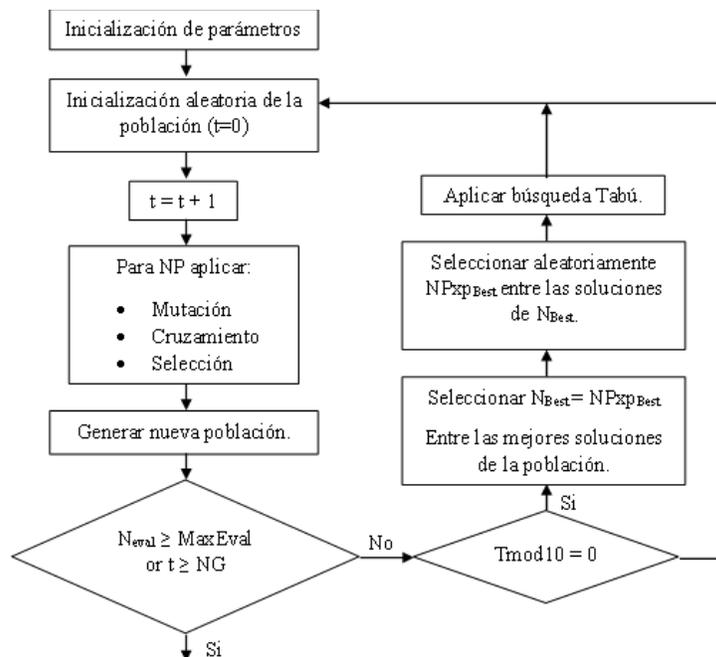


Figura 10. Diagrama de flujo para el metodo DETL (Ponsich & Coello (2013))

El criterio de paro consta del número de generaciones y grado de refinamiento de los frentes de Pareto, una vez obtenido el criterio se obtiene el frente de Pareto. El cual representa todas las soluciones optimas y es necesario analizar su comportamiento respecto a los valores de la función objetivo. El criterio de selección no suele ser concreto, ya no está definido cual es el punto óptimo. Pareto (1964) dio una definición más formal para problemas multiobjetivo, conocido como óptimo de Pareto.

El problema de la optimización implica garantizar la inversión mínima y al mismo tiempo garantizar el menor impacto ambiental durante el proceso. Para cumplir estos objetivos, la optimización implicara el uso de una optimización multiobjetivo para minimizar el costo total anual (TAC) y el impacto ambiental (Eco-indicador 99)

Costo total anual

Los costos son proporcionales a los servicios de calentamiento, enfriamiento y al tamaño de las columnas. La reducción de esta función está sujeta a las recuperaciones y purezas, de tal manera que puede ser descrita de la siguiente forma:

$$MIN(TAC) = f(N_{tn}, N_{fn}, R_{rn}, F_{rn}, D_{cn})$$

$$\text{sujeto a } \vec{y}_m \geq \vec{x}_n$$

Donde la función depende de:

- Numero de etapas totales
- Etapa de alimentación
- Diámetro de las columnas
- Relación de reflujo
- Flujo de destilado

Para el cálculo del TAC, se utilizó el método de Guthrie modificado por Ulrich (1984) ⁹ donde se realiza la estimación de costos de una planta industrias en diversas secciones.

Eco-indicador 99

El impacto ambiental es evaluado con el eco-indicador 99 (Mark Goedkoop & Suzanne, 1999) ¹⁰, basado en el análisis de ciclo de vida. La función objetivo puede ser descrita como:

$$MIN(Eco\ indicador\ 99) = \sum_b \sum_d \sum_{k \in K} \delta_d \omega_d \beta_b \alpha_{b,k}$$

Donde β_b representa la cantidad del compuesto químico b liberado por unidad de flujo de referencia, $\alpha_{b,k}$ es el daño causado en cada categoría k por unidad de b liberado al medio ambiente, ω_d es el factor de ponderación para cada categoría d y δ_d es el factor de normalización por daño de la categoría d.

Desarrollo del método

La implementación del método se realizó de forma conjunta entre Aspen Plus y Microsoft Excel. Ambos programas intercambian datos utilizando un intercambio de datos dinámico. En Excel se encuentran las variables que evaluará el simulador Aspen. Concluida la simulación, la data resultante es exportada a Excel en forma de vectores para ser interpretada con las funciones objetivo y proponer los nuevos valores.

Resultados

Se implementaron los modelos a optimizar en conjunto con Aspen plus y Microsoft Excel. El modelo además de las restricciones de purezas y flujos tiene a considerar si el modelo en aspen plus alcanza la convergencia con las modificaciones propuestas, de no ser así se realiza una penalización que afecta directamente a las funciones objetivo.

Una de las desventajas al momento de realizar esta penalización, es que el algoritmo propuesto no diferencia entre simulaciones con warnings o con errores, lo que representa un inconveniente al momento de catalogar la simulación ya que se pueden descartar buenos resultados por diferencias insignificantes en los balances de materia y/o energía. Concretamente si la simulación presenta advertencias en los cálculos, el algoritmo descarta la data por considerarla semejante a un error.

Por tanto, durante este verano se buscaron alternativas para poder incorporar al algoritmo de optimización. Las alternativas encontradas fueron dos, mediante los comandos de salida de Aspen:

- PER_ERROR: Esta función de llamada puede devolver dos valores únicamente, cero y uno. "Results Available with Errors", "Results Available with Warnings" son representados con un valor igual a uno y "Results Available" toma un valor igual a cero.
- OUSSTAT2: Esta función de llamada puede devolver tres valores diferentes. "Results Available" toma un valor de ocho, "Results Available with Errors" toma un valor 9 y "Results Available with Warnings" toma un valor de 10.

La primera función es sencilla pero no es conveniente debido a que se está descartando data que puede ser de valor. Por lo tanto, la opción más viable es aplicar la segunda función, la cual fue usada en la línea de código del archivo Macro de Excel. Asimismo, se hace uso de un condicional con el cual el algoritmo logre identificar los tres posibles casos y manejar la data acorde a las penalizaciones.

De manera análoga a la segunda función, se puede considerar la programación de un algoritmo haciendo uso únicamente de las funciones disponibles en Microsoft Excel. De hecho, se puede lograr una búsqueda más concreta y encontrar el bloque en la simulación que está presentando problemas.

El algoritmo consiste en una extracción de múltiples funciones de llamada por cada bloque existente en Aspen Plus. El resto consiste en condicionales y operadores lógicos que permiten clasificar los errores. Es importante mencionar que en estas funciones llamada se devuelven datos de tipo cadena (en forma de mensajes) por consiguiente es importante considerar el tipo de variable para hacer la comparación lógica apropiada.

En la Figura 11 se muestra el algoritmo análogo a la función OUSSTAT2:

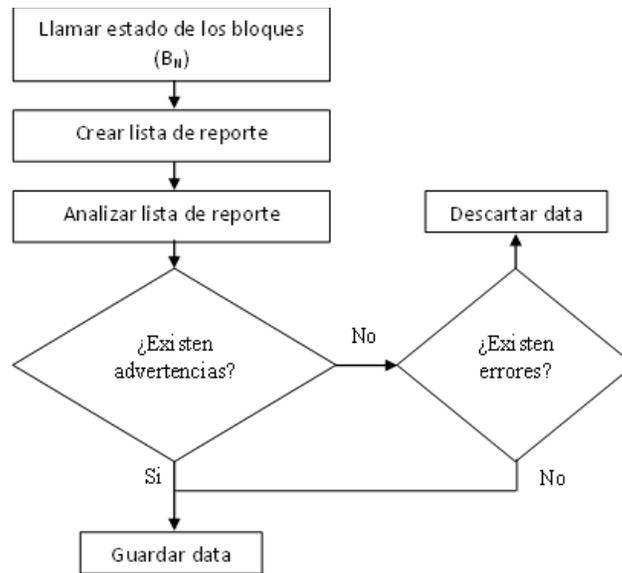


Figura 11. Diagrama de flujo, algoritmo búsqueda de estado.

Gracias al algoritmo se obtiene el mismo resultado que la variable OUSSTAT2, donde es posible identificar los tres posibles casos y además, encontrar el bloque en concreto donde se presentan dificultades en la simulación.

Producción de MTHF a partir de glucosa

La hidredesoxigenación de AL es una ruta alterna para la producción de MTHF. A continuación, se muestran las reacciones involucradas en la transformación de la glucosa hasta la formación de MTHF, Figura 12.

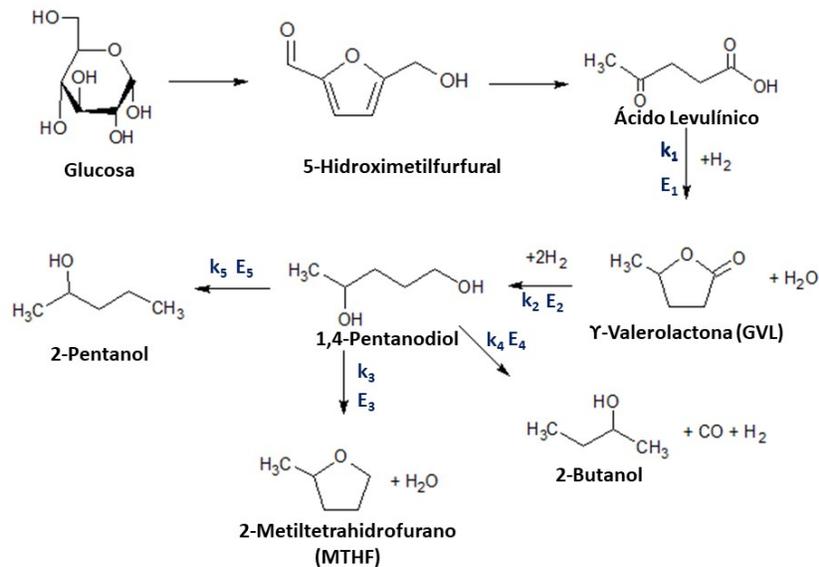


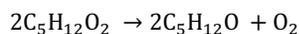
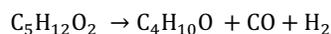
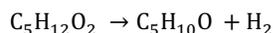
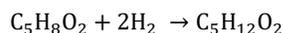
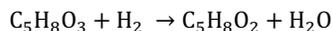
Figura 12. MTHF a partir de la glucosa.

Canshuo¹¹ reportó los siguientes rendimientos de conversión de ácido levulínico en la formación de MTHF:

Tabla 2.- Rendimiento de la reacción de hidrodeshidrogenación ¹¹.

1,4-Pentanodiol	2-MTHF	GVL	2-butanol	2-pentanol
0	73.84	0.313	17.4686	8.3682

Recientemente se propuso una novedosa ruta a partir de la hidrodeshidrogenación del ácido levulínico (AL) y la γ -valerolactona (GVL) ¹¹. Debido a esto, no existe información en cuanto a las cinéticas de las reacciones involucradas, las cuales son las siguientes:



Metodología

Para la obtención de las constantes cinéticas, primero se utilizó la información reportada de los rendimientos de la reacción. Posteriormente con ayuda del software Aspen Plus, se diseñaron dos reactores. Para esto, el programa tiene una variedad de reactores de acuerdo con la información con la que se cuenta.

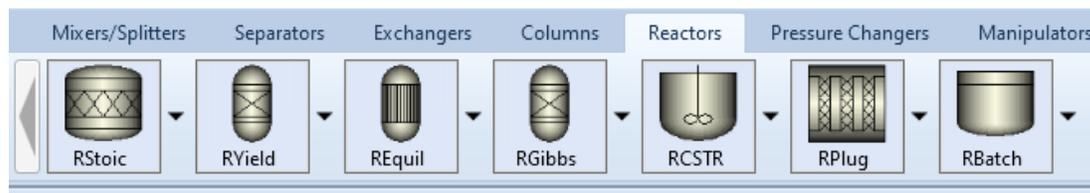


Figura 13. Tipos de reactores disponibles en Aspen Plus.

Se diseñó primero un reactor de conversión (RStoic) para poder obtener la cantidad de moles que se producen de cada uno de los productos principales. Las condiciones de operación del reactor fueron 250°C, un tiempo de residencia de 5h y una presión de 5MPa.

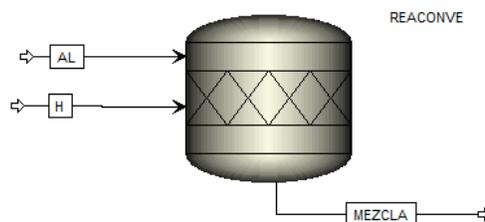


Figura 14. Reactor de conversión.

Una vez que se obtuvieron los compuestos deseados, se procedió a montar un reactor CSTR. Debido a que no se contaba con la información requerida de las reacciones, se propusieron valores aleatorios de k y E con la finalidad de encontrar un rango en el que se empezara a producir MTHF.

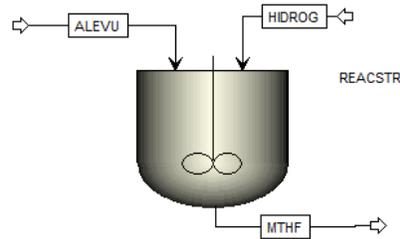


Figura 15. Reactor CSTR.

Stoichiometry		Kinetic		Equilibrium	Activity	Information
1) AL + HIDROGEN --> GVL + AGUA						
Reacting phase	Liquid	Rate basis	Reac (vol)			
Power Law kinetic expression						
If To is specified	Kinetic factor	$=k(T/T_o)^n e^{-(E/R)[1/T-1/T_o]}$				
If To is not specified	Kinetic factor	$=kT^n e^{-E/RT}$				
k	1500					
n	0					
E	5.24	cal/mol				
To	250	C				
[C] basis	Molarity					
Edit Reactions						
Solids						

Figura 16. Cinética de las reacciones.

Por último, se implementó el método de evolución diferencial, el cual consta de un algoritmo la cual su característica principal es su eficiencia en la búsqueda de posibles soluciones que se encuentran en un rango determinado. Debido a esto, era necesario proponer valores de k y E para encontrar un rango en el que se satisfaga la cantidad de moles obtenida del reactor estequiométrico. Una vez obtenidos los valores de las cinéticas, se monta el diseño completo del proceso de producción de MTHF a partir de la Glucosa. Para esto, se tomó el diseño de una columna de destilación reactiva ¹² donde se lleva a cabo la hidrólisis ácida y la separación del agua de los otros componentes, posteriormente un tren de separación y por último un reactor en donde da lugar la hidrodesoxigenación, como se muestra en la Figura 17.

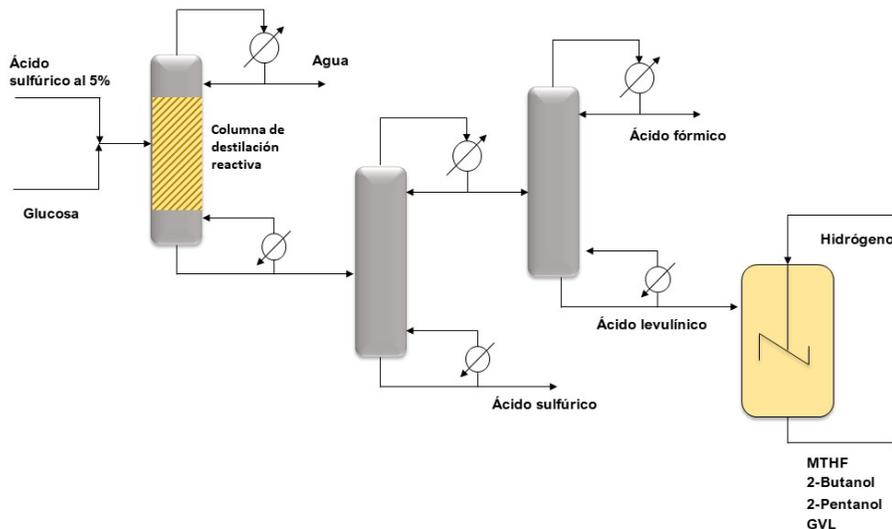


Fig. 2.- Diseño de producción de MTHF a partir de glucosa.

Aprovechamiento de residuos lignocelulósicos dentro de un marco de educación ambiental

En la actualidad, se ve reflejado el exceso del uso de materias primas que nos ofrece la madre tierra, mismas que a través de los años se han estado deteriorando o han sido sobre explotadas por el hombre. Desde 1987 la Comisión Mundial para el Ambiente y el Desarrollo de las Naciones Unidas, preocupada por los problemas ambientales de nuestro planeta han invitado a todos los gobiernos del mundo a incorporarse a la discusión que culminó en el año 2000 con La Carta de la Tierra. A partir de esto, los gobiernos han estado incorporando en el ámbito educativo y en los establecimientos escolares, contenidos que den sentido y vayan vinculados con los valores que se nos enseñan para que se permita un desarrollo de competencias que ayude a generar acciones que vayan dirigidas hacia la sostenibilidad.

Es necesario desarrollar nuevas estrategias para fortalecer la sostenibilidad y aprovechar los recursos que tenemos. Por ello, la investigación que se realizó para saber cómo es que se puede relacionar la Intensificación de procesos y Economía Circular con los temas de Educación Ambiental dentro de las escuelas, dejará ver que es posible relacionar dos campos que se cree son completamente diferentes, para fortalecer un bien común, el cual está dirigido a conocer el cambio que se pretende generar a través de la sostenibilidad en todos los ámbitos posibles.

La educación ambiental busca construir conocimientos, valores y prácticas ambientales dentro de los espacios educativos formales, informales y no formales, que están diseñados para promover la conciencia ecológica y la preocupación por conservar el medio natural que conocemos, así como es también el principal mecanismo al que se recurre para formar generaciones respetuosas de la diversidad natural con la que cuenta el planeta Tierra.

Se plantea, entonces, que la educación ambiental es la herramienta elemental para que todas las personas adquieran conciencia de la importancia de preservar su entorno y sean capaces de realizar cambios en sus valores, conducta y estilos de vida, así como ampliar sus conocimientos para impulsarlos a la acción mediante la prevención y mitigación de los problemas existentes y futuros; por ello, concebimos y practicamos la educación ambiental desde las corrientes resolutiva y praxica¹³⁻¹⁵

Para este estudio, se maneja la educación ambiental como un proceso dirigido a la sensibilización y el conocimiento ecológico, que, además de una actuación pertinente y responsable, proporciona una herramienta pública para tomar las medidas adecuadas para proteger nuestro entorno natural y aprovechar los recursos sin llegar a explotarlos. En otras palabras, se trata de poner en práctica las acciones de las personas, crear hábitos que ayuden a proteger el medio ambiente e incorporar valores que ayuden a prevenir y abordar los problemas ambientales.

La educación es un proceso encaminado a la sensibilización y conocimiento ecológico, por lo que, implementar la educación ambiental es un hábito que debemos formar en nuestro día a día a partir de ahora, generando una gran cantidad de acciones en la sociedad, comenzando por nuestro entorno. Lo idóneo sería aprenderlo desde temprana edad, principalmente para tratar de conocer los recursos que nos ofrece el medio en dónde nacimos para educarnos adecuadamente y ejercer el respeto por la Madre Tierra, para que cuando seamos adultos podamos cuidar de nuestro comportamiento, así como el impacto que cada uno de nosotros puede causar en nuestro el entorno y en la sociedad.

El planeta está experimentando severos cambios debido a la depredación, explotación y contaminación de nuestro entorno y la poca conciencia de lo que nuestro desprecio por las consecuencias ambientales de nuestras acciones cotidianas está llegando a hacer. Los temas de los que nadie habla, como lo es el deterioro real que está teniendo la tierra y todos sus ecosistemas al verse alterados los ciclos naturales como el del agua, son precisamente los que hay que hablar: en este caso, abordar los temas de conciencia ambiental en el ámbito de la educación es una opción efectiva. Además, nos permite entrar en el hogar y llegar a distintas familias. Esto contribuye al progreso social, cultural y económico al mismo tiempo que contribuye al desarrollo sostenible de nuestra sociedad.

La principal solución para enfrentar el problema es la educación, por lo cual los estudiantes deben reflexionar sobre el papel que ellos mismos y sus comunidades tienen en relación con los problemas socioambientales, y que, desde una perspectiva esperanzada y resiliente, se atrean a visualizar escenarios de futuro alternativos y caminar hacia ellos. Es así, como este enfoque hacia una educación ambiental, desarrollada

como un eje transversal, cultural y de una educación para el desarrollo sostenible, crea una nueva estructura educativa. Esta perspectiva educativa se puede aplicar paulatinamente en las escuelas y comenzar a motivar a las generaciones jóvenes a aprovechar los recursos que tienen en su entorno y cuidar de ellos.

Intensificación de procesos y la educación

La intensificación de procesos es un marco holístico para maximizar la productividad general de la operación de una unidad de bio-fabricación, el proceso de fabricación y la producción o el desarrollo de innovadores aparatos y técnicas que ofrecen mejoras drásticas en la fabricación de productos químicos y procesamiento, reduciendo sustancialmente el volumen del equipo, el consumo de energía o los desechos formación y, en última instancia, conducir a tecnologías más baratas, seguras y sostenibles ¹⁶.

El resultado de hacer intensificación de procesos es una nueva forma de ayudar a sacar el máximo provecho de materias primas y generar una producción sostenible, ya que son realizados mediante procesos más amigables con el medio ambiente a través de la innovación mientras se valora cada parte del proceso y principalmente la utilización de residuos que se tienen como desechos. La educación ambiental se liga a estos procesos ya que se implementa en el currículo de las escuelas como una nueva forma de concientización de nuestros actos, iniciando con adentrar a niños y jóvenes con acciones y responsabilidades que los orientan a tener nuevas perspectivas de las consecuencias de los actos que se producen en la sociedad, dejando en claro la poca sensibilidad que se tiene sobre la gravedad de las consecuencias que se crean debido a la mal utilización de los recursos, es así como la comprensión de los fenómenos sociales y psicológicos implica la observación de las dinámicas de las fuerzas que están presentes e interactúan en un determinado contexto: si la realidad es un proceso de cambio en acto, la ciencia no debe congelarlo sino, estudiar las cosas cambiándolas y observando los efectos¹⁷. Por esta razón, es esencial formar profesionistas con las capacidades necesarias para comprender la realidad desde una perspectiva crítica y compleja, y con la motivación para comprometerse personal y profesionalmente con la búsqueda de una sociedad justa y ambientalmente responsable¹⁸.

Ramos y sus colegas ¹⁸ plantean la necesidad de que los estudiantes reflexionen sobre el papel que ellos mismos y sus comunidades tienen en relación con los problemas socioambientales, y que, desde una perspectiva esperanzada y resiliente, se atrevan a visualizar escenarios de futuro alternativos y caminar hacia ellos. Esta perspectiva sobre la educación ambiental, desarrollada como un eje transversal, invita a crear una nueva estructura educativa, misma que se puede introducir, paulatinamente, en las escuelas con la finalidad de promover una vinculación amorosa con los elementos y los recursos que tienen en su entorno, a la vez que se cultiva una actitud de responsabilidad y cuidado de ellos.

Cuando se habla de la responsabilidad que se debe tener con nuestros actos, se habla también de las acciones que se están generando para aportar un poco a la Tierra y generar nuevos productos a través de biomasa, la cual debe de ser aprovechada y que las personas puedan darle el valor que se merece a todos esos productos o desechos que ayudan a generarla. La biomasa se define como cualquier materia orgánica disponible de forma renovable, incluidos cultivos y árboles, alimentos agrícolas y residuos de cultivos forrajeros, plantas acuáticas, madera y residuos de madera, desechos de animales y otros materiales ¹⁹. La biomasa debe ser producido de manera sostenible y utilizado de la manera más eficiente posible ²⁰.

Por lo tanto, la educación es pieza clave en este proceso, debido a que en los ambientes rurales es donde más se produce materia para la creación de biomasa, por lo que transmitir el conocimiento a las generaciones desde niños a adultos de la importancia de utilizar los desechos de las siembras al ser cosechadas, produciría un menor impacto al no contaminar quemando las parcelas y aprovechando al máximo todo el recurso que la tierra nos ofrece.

Economía circular

La economía circular es un paradigma que tiene como objetivo generar prosperidad económica, proteger el medio ambiente y prevenir la contaminación, facilitando así el desarrollo sostenible. El creciente interés de gobiernos, industria y sociedad en la implementación de la economía circular nos ha llevado a indagar sobre su conexión directa con el fin último de este paradigma: la sostenibilidad. Para ello se ha realizado un análisis de los artículos científicos publicados en este último siglo acerca de este tema. Como resultado se concluye que la Economía Circular es un paradigma de actuación que ha evolucionado a partir del concepto de sostenibilidad y su aplicación en la economía, la sociedad, y el cuidado necesario del ambiente que nos rodea. Así, la Economía Circular se ha convertido en un paradigma que busca el desarrollo sostenible, proponiendo diferentes estrategias en toda la cadena de producción y uso de los productos y servicios. Para este propósito el artículo propone cinco campos de acción concretos y presenta estrategias de diseño sostenible para conseguir la circularidad en los procesos, permitiendo la producción y consumo sostenible ²¹.

El costo ambiental de un sistema de usar y tirar ha dejado consecuencias graves al generar un fuerte deterioro por el exceso de producción. Lejos de seguir usando ese sistema de desecho, se apuesta por el sistema de economía circular que permite la utilización por más años, al extender la vida de los productos y darles una segunda vida mediante la prevención, la reutilización, reparación y reciclaje, convirtiendo los residuos en recursos.

Por tanto, mediante el uso de residuos lignocelulósicos para la producción de productos de alto valor, en este caso la producción del MTHF se están incorporando estos desechos a una cadena de valor, logrando su incorporación a un sistema de economía circular. Por otra parte, mediante la utilización y aprovechamiento de estos residuos se genera un impacto en el ambiente. Aunado a esto mediante la intensificación de procesos se busca la disminución de las emisiones de CO₂ y la creación de procesos más eficientes. Si bien estos conceptos son claros dentro de un ámbito de ingeniería química es importante sobrepasar las barreras interdisciplinarias con el objetivo que ejes fundamentales como la educación generen conciencia en las nuevas generaciones y con ello se logre la sustentabilidad.

Referencias

- Liu, P., et al., *Efficient one-pot conversion of furfural into 2-methyltetrahydrofuran using non-precious metal catalysts*. 2020. **490**: p. 110951.
- Christensen, E., et al., *Renewable Oxygenate Blending Effects on Gasoline Properties*. Energy & Fuels, 2011. **25**(10): p. 4723-4733.
- Aycock, D.F., *Solvent Applications of 2-Methyltetrahydrofuran in Organometallic and Biphasic Reactions*. Organic Process Research & Development, 2007. **11**(1): p. 156-159.
- Pace, V., et al., *2-Methyltetrahydrofuran (2-MeTHF): A Biomass-Derived Solvent with Broad Application in Organic Chemistry*. 2012. **5**(8): p. 1369-1379.
- Metkar, P.S., et al., *Reactive distillation process for the production of furfural using solid acid catalysts*. Green Chemistry, 2015. **17**(3): p. 1453-1466.
- Wiranarongkorn, K., et al., *Exergy and exergoeconomic analyses of sustainable furfural production via reactive distillation*. Energy, 2021. **226**: p. 120339.
- Srinivas, M. and G.P. Rangaiah, *Differential Evolution with Tabu List for Solving Nonlinear and Mixed-Integer Nonlinear Programming Problems*. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2007. **46**(22): p. 7126-7135.
- Ponsich, A. and C.A. Coello Coello, *A hybrid Differential Evolution—Tabu Search algorithm for the solution of Job-Shop Scheduling Problems*. Applied Soft Computing, 2013. **13**(1): p. 462-474.
- Ulrich, R., *View through a window may influence recovery from surgery*. 1984. **224**(4647): p. 420-421.
- Goedkoop, M. and R. Spriensma, *The Eco-Indicator 99: A Damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment*. 2001.
- Gu, C., et al., *One-pot conversion of biomass-derived levulinic acid to furanic biofuel 2-methyltetrahydrofuran over bimetallic NiCo γ -Al₂O₃ catalysts*. Molecular Catalysis, 2022. **524**.
- Solis-Sanchez, J.L., et al., *Innovative reactive distillation process for levulinic acid production and purification*. Chemical Engineering Research and Design, 2022. **183**: p. 28-40.
- Tolosa, A.A.T.J.I.e.i.p.l.t.e., *Hacia una cultura de educación ambiental desde la sostenibilidad*. p. 119.
- Yadav, S.K., et al., *Environmental education for sustainable development, in Natural Resources Conservation and Advances for Sustainability*. 2022, Elsevier. p. 415-431.
- Wendlandt Amézaga, T.R., et al., *Measuring sustainable development knowledge, attitudes, and behaviors: evidence from university students in Mexico*. 2022. **24**(1): p. 765-788.
- Drioli, E. and L. Giorno, *Comprehensive membrane science and engineering*. Vol. 1. 2010: Newnes.
- Martínez Miguélez, M., *Ciencia y arte en la metodología cualitativa*. 2006.
- Ramos-Mora, D.M., C.A. Escobar-López, and C. Chao-Rebolledo, *Diseño de una propuesta de intervención educativa para el desarrollo de la competencia para la sustentabilidad en la educación superior, in XV Congreso Nacional de Investigación Educativa 2019*: Mexico.
- Kamm, B., P.R. Gruber, and M. Kamm, *Biorefineries—Industrial Processes and Products, in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. p. 1-38.
- Hingsamer, M. and G. Jungmeier, *Chapter Five - Biorefineries, in The Role of Bioenergy in the Bioeconomy*, C. Lago, N. Caldés, and Y. Lechón, Editors. 2019, Academic Press. p. 179-222.
- Prieto Sandoval, V., C. Jaca, and M. Ormazabal, *Economía circular*. Memoria Investigaciones en Ingeniería, 2017(15): p. 85-95.