

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE
Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales

Sustentabilidad y tecnología

PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)
Programa de Apoyo a Centros de Investigación Externos II



**ITESO, Universidad
Jesuita de Guadalajara**

4G03B Programa de Apoyo a Centros de Investigación Externos II
Actualización del modelo del proceso de producción de etanol y análisis
económico del modelo realizado en el Laboratorio de Futuros en Bioenergía
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico
Nacional de Guadalajara

PRESENTAN

Programas educativos y Estudiantes
Ing. Química, Andrea Soto Oseguera

Profesor PAP: Dra. Gabriela Porras Quevedo

Dr. Arturo Sánchez Carmona

Tlaquepaque, Jalisco, julio de 2023

ÍNDICE

Contenido

REPORTE PAP	2
Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional	2
Resumen	4
1.Ciclo participativo del Proyecto de Aplicación Profesional.....	4
1.1 Entendimiento del ámbito y del contexto	6
1.2 Caracterización de la organización	8
1.3 Identificación de la(s) problemática(s)	10
1.4. Planeación de alternativa(s)	11
1.5. Desarrollo de la propuesta de mejora	12
1.6. Valoración de productos, resultados e impactos	27
1.7. Bibliografía y otros recursos.....	30
1.8 Anexos Generales	31
2. Productos	31
3. Reflexión crítica y ética de la experiencia.....	48
3.1 Sensibilización ante las realidades	48
3.2 Aprendizajes logrados	49

REPORTE PAP

Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional

Los Proyectos de Aplicación Profesional (PAP) son experiencias socio-profesionales de los alumnos que desde el currículo de su formación universitaria- enfrentan retos, resuelven problemas o innovan una necesidad sociotécnica del entorno, en vinculación (colaboración) (co-participación) con grupos, instituciones, organizaciones o comunidades, en escenarios reales donde comparten saberes.

El PAP, como espacio curricular de formación vinculada, ha logrado integrar el Servicio Social (acorde con las Orientaciones Fundamentales del ITESO), los requisitos de dar cuenta de los saberes y del saber aplicar los mismos al culminar la formación profesional (Opción Terminal), mediante la realización de proyectos profesionales de cara a las necesidades y retos del entorno (Aplicación Profesional).

El PAP es un proceso acotado en el tiempo en que los estudiantes, los beneficiarios externos y los profesores se asocian colaborativamente y en red, en un proyecto, e incursionan en un mundo social, como actores que enfrentan verdaderos problemas y desafíos traducibles en demandas pertinentes y socialmente relevantes. Frente a éstas transfieren experiencia de sus saberes profesionales y demuestran que saben hacer, innovar, co-crear o transformar en distintos campos sociales.

El PAP trata de sembrar en los estudiantes una disposición permanente de encargarse de la realidad con una actitud comprometida y ética frente a las disimetrías sociales. En otras palabras, se trata del reto de “saber y aprender a transformar”.

El Reporte PAP consta de tres componentes:

El primer componente refiere al ciclo participativo del PAP, en donde se documentan las diferentes fases del proyecto y las actividades que tuvieron lugar durante el desarrollo de este y la valoración de las incidencias en el entorno.

El segundo componente presenta los productos elaborados de acuerdo con su tipología.

El tercer componente es la reflexión crítica y ética de la experiencia, el reconocimiento de las competencias y los aprendizajes profesionales que el estudiante desarrolló en el transcurso de su labor.

Resumen

El PAP de actualización del modelo del proceso de producción de bioetanol y análisis económico elaborado en el Laboratorio de Futuros en Bioenergía (LFB) de Cinvestav es la continuación del proyecto realizado en primavera 2023, en el cual se realizó la actualización del modelo del proceso de producción de bioetanol. El objetivo principal consistió en determinar el precio mínimo de venta del etanol del modelo PETA actualizado realizado en Primavera 2023 usando el análisis de flujos descontados para obtener un Valor Presente Neto (VPN) igual a cero tomando en cuenta el dióxido de carbono como coproducto, debido a que el precio de venta de etanol obtenido en SPD no es correcto de acuerdo al VPN calculado.

Se realizaron las modificaciones dentro de las etapas de tratamiento de agua y cogeneración disminuyendo la cantidad de agua implementada de acuerdo con los parámetros establecidos dentro del LFB.

Se realizó el análisis económico de ambos modelos con y sin vinazas calculando el precio mínimo de venta de etanol considerando un precio de venta del coproducto de dióxido de carbono fijo y obteniendo los ingresos totales de cada modelo. Se calculó la cantidad de agua final a partir de los porcentajes de recirculación obtenidos, así como el porcentaje de asignación de cada producto y su respectivo costo de producción.

Se determinó la contribución al costo total de producción de cada coproducto por medio de la técnica de asignación económica. Los porcentajes de asignación resultantes fueron del 71% para el etanol y 21% para el CO_2 para el modelo con vinazas, así como de 68% y 31% para el modelo sin vinazas.

1. Ciclo participativo del Proyecto de Aplicación Profesional

El PAP es una experiencia de aprendizaje y de contribución social integrada por estudiantes, profesores, actores sociales y responsables de las organizaciones, que de manera colaborativa construyen sus conocimientos para dar respuestas a problemáticas de un contexto específico y

en un tiempo delimitado. Por tanto, la experiencia PAP supone un proceso en lógica de proyecto, así como de un estilo de trabajo participativo y recíproco entre los involucrados.

Cinvestav Guadalajara (Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional) es un centro de investigación enfocado en la contribución de la sociedad por medio de la investigación científica y tecnológica. Dicho centro se encuentra enfocado en la formación de recursos humanos de alta calidad y el impacto ambiental del proceso de tales recursos. El tipo de proyecto a realizar es por simulador a partir de la lectura e investigación recabada sobre la reacción de Guerbet.

Objetivo General

El objetivo principal consistió en determinar el precio mínimo de venta del etanol del modelo PETA actualizado realizado en Primavera 2023 usando el análisis de flujos descontados para obtener un Valor Presente Neto (VPN) igual a cero tomando en cuenta el dióxido de carbono como coproducto por medio de un programa elaborado en excel dentro del LFB.

Objetivos Específicos

- Realizar la búsqueda bibliográfica de la reacción de Guerbet
- Investigar sobre los procesos que implementan la reacción de Guerbet actualmente y la producción de sus catalizadores
- Identificar las problemáticas principales de la reacción de Guerbet y de los procesos realizados a partir de esta.
- Realizar un ajuste paramétrico del proceso simulado
- Realizar el cálculo del precio mínimo de venta del etanol por medio de programación en Excel del modelo PETA actualizado realizado en primavera 2023.
- Determinar el precio del dióxido de carbono fijo y del etanol calculado para ambos modelos actualizados realizados en primavera 2023 (con y sin vinazas)
- Modificar la etapa de cogeneración de ambos modelos realizados

1.1 Entendimiento del ámbito y del contexto

Actualmente, las emisiones de efecto invernadero y su impacto en el cambio climático son causadas principalmente por las actividades industriales, comerciales, domésticas y agropecuarias. Dicha contaminación del aire es producto de la quema de combustibles fósiles, la cual afecta a todos los seres vivos, provocando diversas enfermedades crónicas y la muerte de aproximadamente medio millón de personas a nivel mundial en 2020 [1].

Los biocombustibles son combustibles obtenidos por medio de la biomasa que tienen la capacidad de reducir las emisiones de gas de efecto invernadero, ya que son obtenidos de fuentes renovables, y son usados principalmente en el sector de autotransporte. De acuerdo con la norma mexicana NOM-016-CRE del 2017, está permitido el uso de etanol anhidro al 6% en el territorio nacional, a excepción de Guadalajara, Monterrey y en las zonas metropolitanas del Valle de México [1].

Entre en 2000 y 2019 el consumo del biocombustible de etanol aumentó de 17,200 millones a 107,9000 millones, es decir, 527%, en cambio, su utilización para otros fines tales como bebidas alcohólicas, medicamentos, entre otros, incrementó un 74% de 13,600 millones a 23,600 millones de litros.

Una manera de obtener biocombustibles es por medio de la reacción de Guerbet. Dicha reacción utiliza residuos agro-industriales y alcoholes tales como el bioetanol, para producir alcoholes primarios β con menor punto de fusión, emolientes cosméticos con mejor permeabilidad al oxígeno y mayor estabilidad para la oxidación, surfactantes y detergentes más biodegradables. En la Figura 1 se presenta un diagrama de las diversas fuentes implementadas para la producción de alcoholes de Guerbet anteriormente mencionados [2].

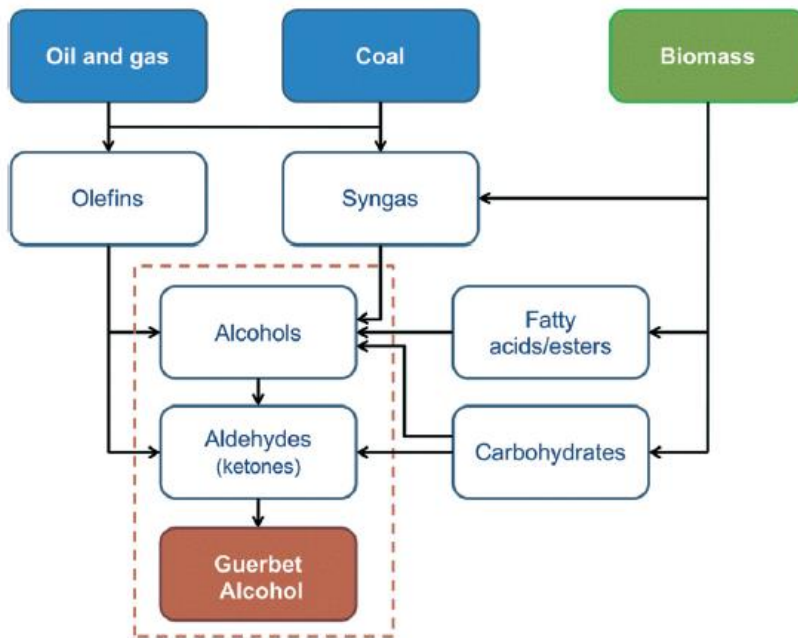


Figura 1. Descripción general de las fuentes de petróleo y gas, carbón y biomasa para la producción de alcoholes de Guerbet. [2]

Los alcoholes de Guerbet tienen bajos puntos de fusión y mayor fluidez, además sirven como primas renovables como detergentes, lubricantes de baja temperatura y fluidos hidráulicos. De igual manera, pueden ser utilizados para la producción de ceras, plastificantes, emulsionantes y agentes espesantes en la industria alimentaria y cosmética. Estos alcoholes son completamente saturados y tienen buena estabilidad oxidativa y térmica [2].

Al usar estos alcoholes como biocombustibles y tomando en cuenta que se está implementando el bioetanol producido anteriormente en el modelo actualizado PETA, ayudaría a disminuir el impacto ambiental, así como las emisiones de CO_2 (dióxido de carbono) liberadas al medio ambiente durante el proceso realizado. Implementar biocombustibles para los medios de transporte, los cuales generan entre el 40% y 80% menos cantidad de gases de efecto invernadero que otros combustibles fósiles, mejoraría las condiciones ambientales actuales en las que viven todos los seres vivos, así como es una manera de usar materias primas y de mejorar el diseño de procesos industriales que no afectan de gran manera el medio ambiente [2].

En primavera 2023 se realizó la actualización del modelo PETA (producción de etanol) con y sin vinazas a partir del cual se obtuvo el análisis técnico económico de ambos modelos, obteniendo el Valor Presente Neto (VPN) y el precio de venta del etanol por medio de SPD. En el presente PAP se realizará el cálculo del precio mínimo de venta del etanol de dicho modelo, considerando el dióxido de carbono como coproducto y estableciendo su precio de venta fijo de acuerdo con sus condiciones de salida tales como presión, porcentaje de composición másica y cantidad, e iterando por medio de la herramienta de EXCEL para obtener un VPN de cero.

El VPN es la suma de los beneficios netos futuros del proyecto en un periodo de tiempo establecido a una tasa de descuento relevante y determinada, que se obtiene como resultado del Análisis de Flujo Descontado. Este es una función inversa de la tasa de descuento, es decir, que en la medida que la tasa de descuento es más alta el costo de oportunidad que enfrenta el proyecto también es más alto, por lo que el valor presente de los flujos futuros es menor que cuando la tasa de descuento presenta niveles más bajos. El VPN es una manera de analizar la viabilidad de los proyectos de inversión [3].

Si el VPN es mayor a cero ($VPN > 0$), se considera que el proyecto es socialmente rentable y es conveniente realizarlo, por otro lado, si VPN es menor a cero ($VPN < 0$), el proyecto no es rentable ni es conveniente realizarlo. Sin embargo, si el VPN es cero, resulta indiferente realizar el proyecto o invertir en dicha alternativa, es decir, que no se están presentando pérdidas ni ganancias a partir de dicho proyecto. A partir de un VPN de cero, se puede determinar el precio mínimo de venta de un producto, y posteriormente a partir de dicho valor, determinar un precio de venta para obtener un VPN mayor a cero, a partir del cual se puedan obtener ganancias y haya una rentabilidad económica [3].

1.2 Caracterización de la organización

Cinvestav Guadalajara (Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional) es un centro de investigación en el cual se ofrecen 5 especialidades las cuales son ciencias de la computación, control automático, diseño electrónico, sistemas eléctricos de potencia y telecomunicaciones. Dentro de dicho centro se encuentra el

Laboratorio de Futuros en Bioenergía el cual está enfocado en biorrefinerías por medio del uso de y obtención de bioenergía. Dicho centro se encuentra enfocado en diversas áreas, tales como ciencias exactas, ciencias biológicas y de la salud, ingeniería y tecnología y ciencias sociales. El centro de Guadalajara se encuentra localizado en Av. del Bosque 1145, colonia el Bajío, CP 45019, Zapopan, Jalisco, México [4].

Cinvestav se encuentra enfocado en la contribución del desarrollo de la sociedad por medio de la investigación científica y tecnológica de vanguardia, así como la formación de recursos renovables de alta calidad que no sean dañinos al medio ni contribuyan al impacto ambiental de manera negativa [4]. La visión de dicho centro consiste en la formación de investigadores de alto nivel y generación de conocimiento científico y tecnológico de frontera, con un creciente impacto nacional e internacional que contribuya en forma visible y relevante a la solución de problemas del país ampliando nuestra presencia en la sociedad y en la cultura contemporánea [4].

Cinvestav es responsable de atender todas las acciones que están orientadas a realizar colaboración académica, científica y/o tecnológica. En este centro se realizan diversos proyectos tales como “Clúster Biocombustibles Lignocelulósicos para el Sector Autotransporte del Centro Mexicano de Innovación en Bioenergía”, “Aprovechamiento integral en un concepto de sustentabilidad energética de los subproductos de la cadena agave-tequila”, “Evaluación de la Operación de Sistemas Eléctricos de Potencia Considerando Energías Renovables No Convencionales”, entre otros [4].

El centro cuenta con diversos laboratorios enfocados en las distintas ramas mencionadas anteriormente. Los laboratorios principales son el Laboratorio de Ciencias de la Computación, Laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia, Laboratorio de Control Automático, Laboratorio de Diseño Electrónico, Laboratorio de Telecomunicaciones, Laboratorio de Compatibilidad Electromagnética, y el Laboratorio de Futuros en Bioenergía [4].

El investigador con el cual se realizó el proyecto mencionado anteriormente es el Doctor Arturo del Sagrado Corazón Sánchez Carmona, el cual está encargado del Laboratorio de Futuros en Bioenergía (LBF), en el que se llevó a cabo el proyecto PAP.

El LBF realiza actividades de investigación aplicada y desarrollo tecnológico enfocadas en las áreas de diseño conceptual de biorrefinerías, análisis de sustentabilidad de biocombustibles y deconstrucción de biomasa. Su objetivo principal consiste en contribuir con soluciones científicas y tecnológicas para la producción de biocombustibles a partir de biomasa vegetal, como sustitutos de los combustibles obtenidos de los materiales fósiles que se emplean en el sector autotransporte [4].

1.3 Identificación de la(s) problemática(s)

La problemática principal radica en que los combustibles fósiles tales como el carbón, petróleo y gas natural, siguen siendo implementados como una de las mayores fuentes de energía y suministran alrededor del 80% de la energía mundial. Dichos combustibles son una de las mayores causas del cambio climático y el calentamiento global, debido a que liberan dióxido de carbono (CO_2) y diversos gases de efecto invernadero [5].

Por medio de la reacción de Guerbet se pueden generar biocombustibles renovables para carros, aviones y diversos métodos de transporte, así como para producir emolientes cosméticos, surfactantes y detergentes que contaminen en la menor escala posible al medio ambiente, disminuyendo las emisiones de gas de efectos invernadero y el uso de energía no renovable.

La otra problemática consiste en que el análisis técnico económico (ATE) obtenido por SPD realizado en primavera 2023 para el modelo PETA actualizado (con y sin vinazas) solamente toma en cuenta el producto principal del etanol, sin considerar el segundo producto que es dióxido de carbono, por lo que el precio mínimo de venta de etanol obtenido no es correcto al igual que el valor del VPN.

1.4. Planeación de alternativa(s)

A partir del PAP realizado en primavera 2023, se determinaron dos modelos actualizados del proceso de producción de etanol PETA a partir de los cuales se obtuvo el producto del etanol y el dióxido de carbono como un coproducto. Anteriormente se realizó un análisis técnico económico con SPD, con el cual se determinó un precio de venta del etanol mayor al precio de venta establecido dentro del simulador, por lo que se decidió realizar el análisis por fuera de dicho programa, calculando el costo total de producción usando asignación económica para el coproducto de dióxido de carbono.

A partir de ambos modelos realizados (con y sin vinazas), se realizará el cálculo del precio mínimo de venta del etanol, considerando un precio fijo de venta del coproducto de dióxido de carbono. Esto será a partir del cálculo del VPN para que sea cero, por medio de la modificación de un Excel realizado anteriormente en el Laboratorio de Futuro en Bioenergía (LFB), el cual está programado para calcular el precio mínimo de venta de un producto, ingresando todos los valores obtenidos por SPD del modelo. En este programa se modificará el método de cálculo de ingresos, considerando uno o diversos coproductos, así como se programará para obtener dicho valores directamente de SPD y se pueda modificar fácilmente de acuerdo a las condiciones y necesidades de cada modelo requerido.

En la Tabla 1 se muestra el plan de trabajo del presente PAP. Se especifican los recursos requeridos para cumplir cada actividad, así como el tiempo en el que se realizará cada actividad.

Tabla 1. Cronograma de las actividades a realizar durante el PAP

Nombre de la actividad	Recursos	Tiempo(días)	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Familiarización con lecturas de la reacción de Guerbet	TP	4								
Resúmenes de los artículos leídos	TP	4								
Modificación de la etapa de cogeneración del modelo actualizado en SPD	AD	4								
Modificación de herramienta de Excel para realizar el cálculo de VPN = 0 y cálculo de precio mínimo de venta del etanol	TP	4								
Modificación de Excel para realizar la asignación económica del etanol y dióxido de carbono	TP	8								
Correcciones del modelo simulado y presentar del avance 4 al director	AA	4								
Presentación final oral	TP	1								

En la tabla 2 se muestran las abreviatura de los recursos señalados en el cronograma de actividades de la tabla 1.

Tabla 2. Abreviaturas de los recursos señalados en el cronograma de actividades

Recursos utilizados	
AA	Asesoría Dr. Arturo Sánchez
AD	Asesoría Ing. Damián Castillo
TP	Trabajo Personal

1.5. Desarrollo de la propuesta de mejora

SuperPro Designer es un simulador en la cual se lleva a cabo el diseño conceptual de diversos procesos, la evaluación económica de un proyecto y la evaluación de impacto ambiental. La

evaluación económica sirve para determinar si el modelado de un proceso es rentable y ayuda de determinar costos y los ingresos necesarios requeridos a futuro [6].

Modificación de diagramas de bloques

Para el modelo actualizado del proceso de producción de bioetanol realizado en el PAP de primavera 2023, se realizaron diagramas de bloques de ambos modelos (con vinazas y sin vinazas) en los cuales solamente se presetaran las etapas dentro del proceso, así como todas las entradas y salidas totales del proceso. En la figura 2 se presenta el diagrama de bloques del modelo PETA anterior, en el cual se muestra la etapa de “overliming”, así como la salida de yeso de dicha etapa.

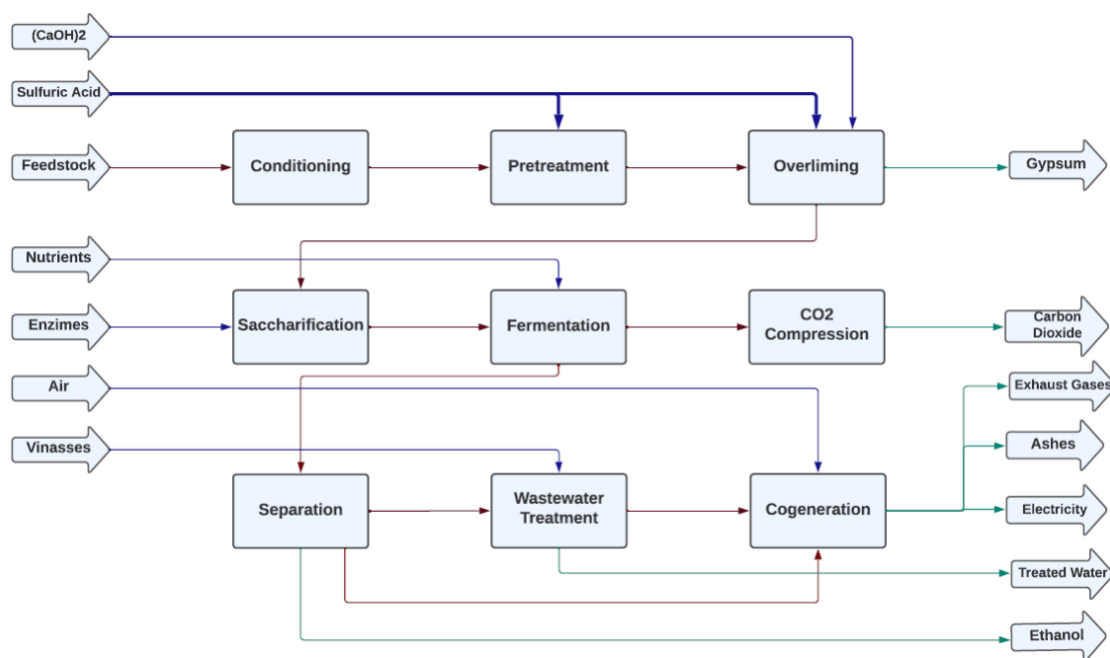


Figura 2. Diagrama de bloques del modelo PETA de cada etapa

En las figuras 3 y 4 se presentan los diagramas de bloques de los modelos actualizados con y sin vinazas, en los cuales se sustituyó la etapa de overliming por el proceso de pretratamiento ácido “acid pretreatment”, así como se presenta la entrada del hidróxido de calcio a 0.5M dentro de dicha etapa. En la figura 4 muestra la eliminación de la entrada de vinazas en comparación con la figura 3. En los diagramas presentados en las figuras 4, 5 y 6 no se muestran las entradas y salidas de agua del sistema.

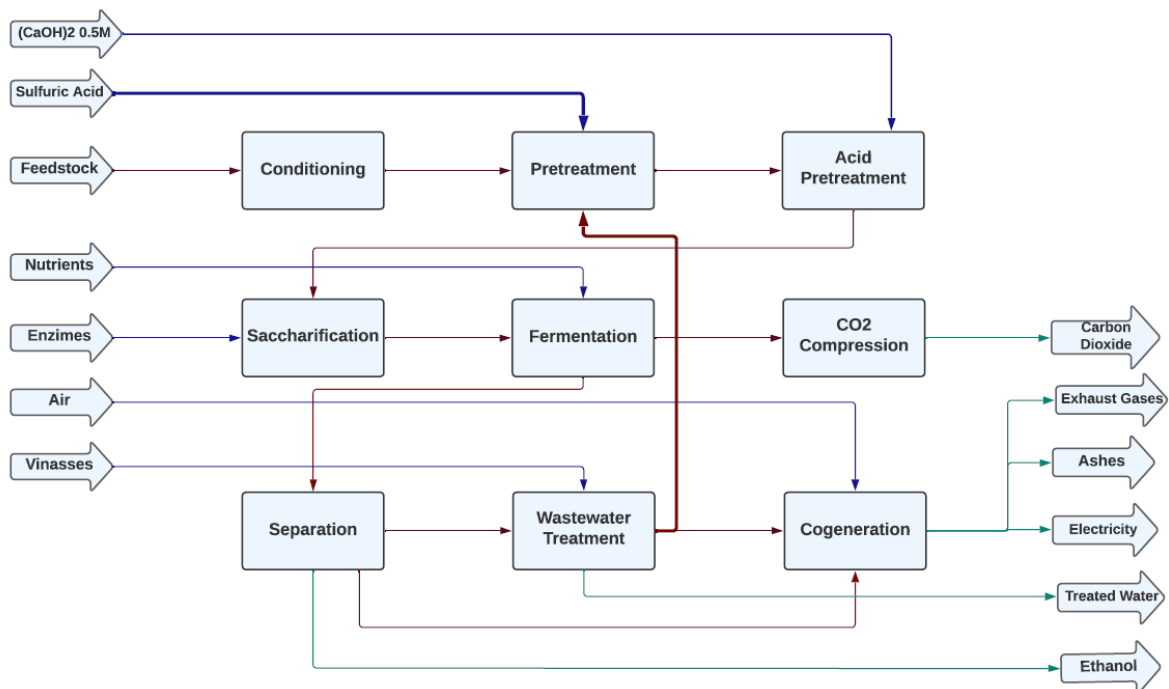


Figura 3. Diagrama de bloques del modelo actualizado con vinazas

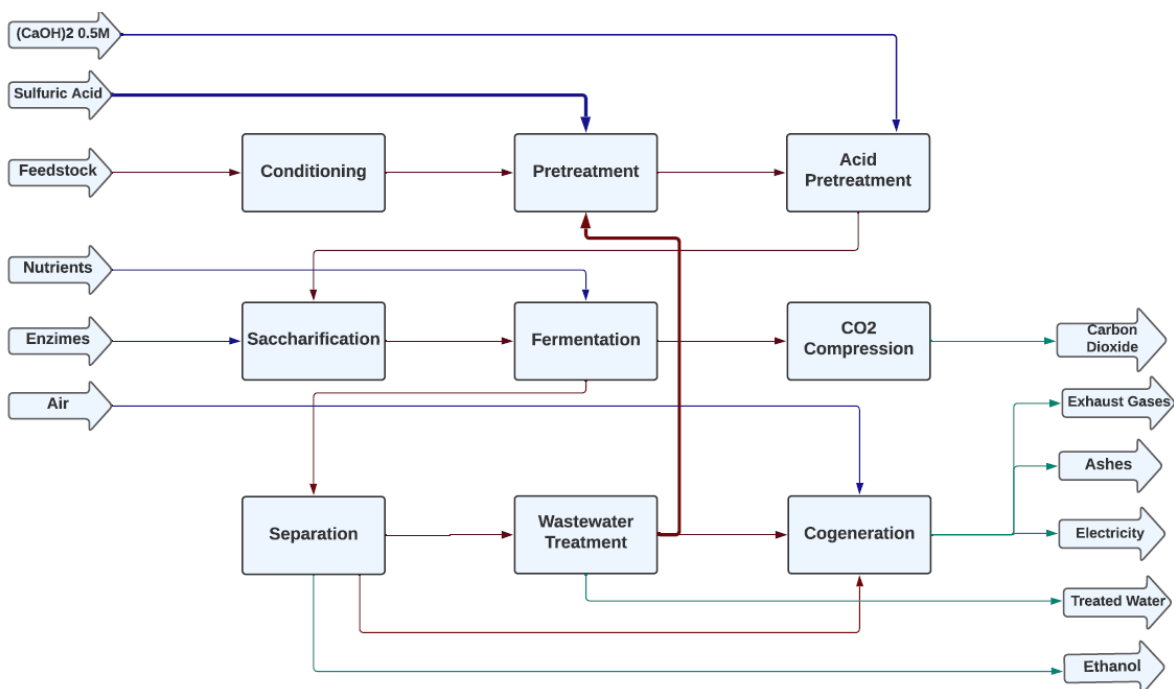


Figura 4. Diagrama de bloques del modelo actualizado sin vinazas

En la figura 7 se presenta el diagrama de bloques de ambos modelos actualizados (con y sin vinazas) en los cuales se muestran solamente las entradas y salidas de agua del proceso.

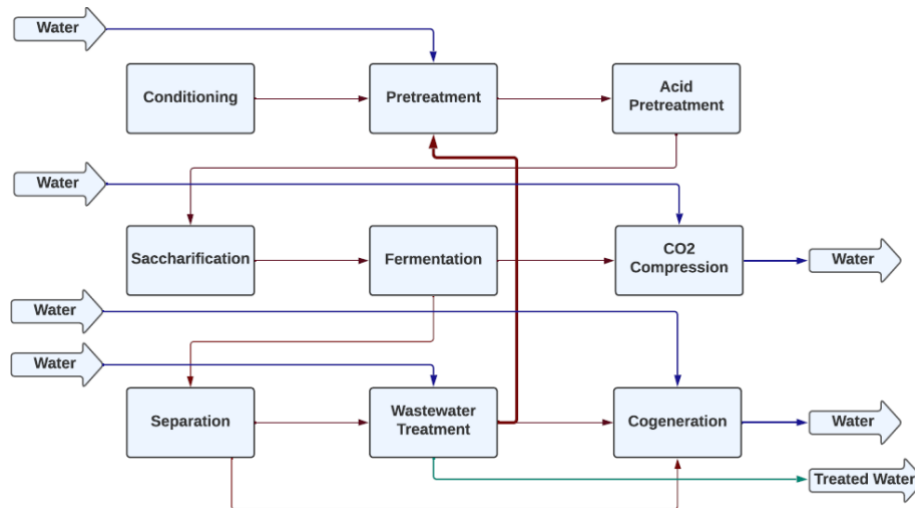


Figura 5. Diagrama de bloques del modelo actualizado sin vinazas

Modificaciones en SPD en fase de cogeneración y tratamiento de agua

Dentro de etapa de tratamiento de agua se eliminó una entrada de agua la cual se dirigía a un tornillo transportador y posteriormente a un filtro rotatorio. Se quitó dicha entrada para disminuir el consumo de agua, ya que determinó dentro del LFB que no era necesaria dentro del proceso y solamente aumentaría el costo de agua requerida. En las figura 6 se presenta la etapa de tratamiento de agua sin dicha entrada de agua.

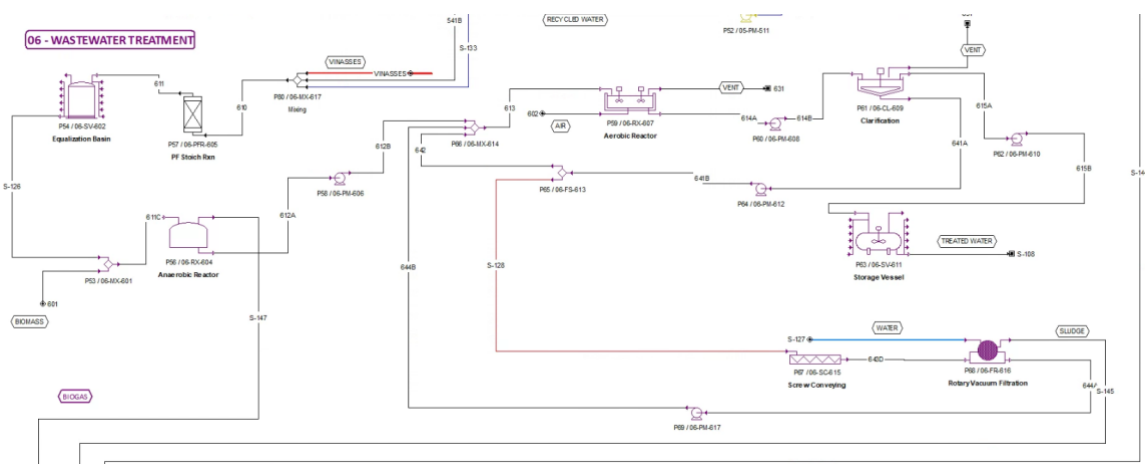


Figura 6. Etapa de tratamiento de agua para ambos modelos

Dentro de la etapa de cogeneración llegaban las 3 salidas del reactor anaerobio, del filtro de tratamiento de agua y del filtro de la etapa de separación. Las tres salidas se combinaban y llegaban al intercambiador como se muestra en la figura 7, para posteriormente mandar los gases al precipitador electrostático y el reto a la caldera, y finalmente a la turbina, de la cual se obtenía vapor, vapor de alta presión y agua.

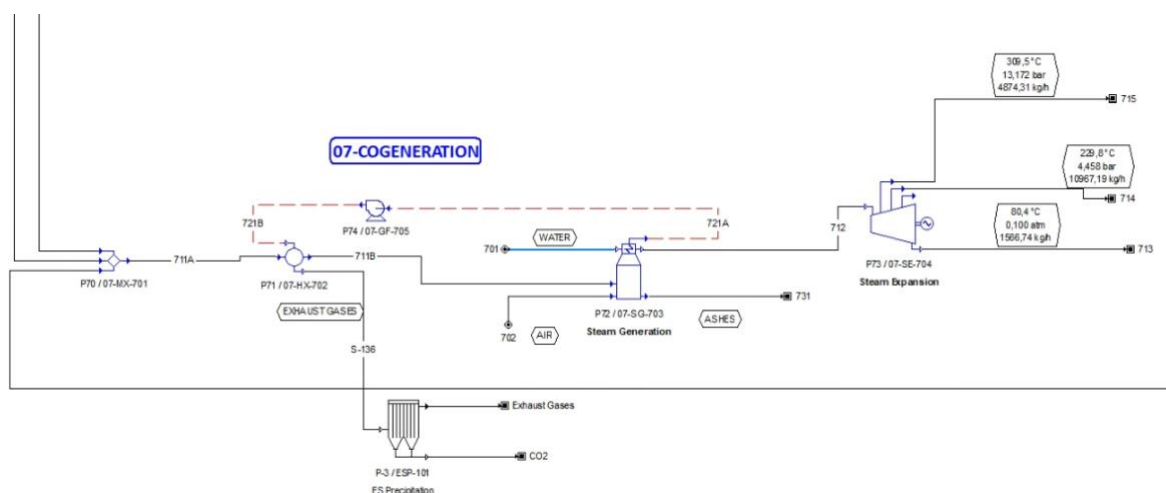


Figura 7. Etapa de tratamiento de cogeneración del modelo actualizado en primavera 2023

Se estableció dentro del laboratorio que los lodos salientes de las 3 corrientes se tenían que secar antes de entrar al intercambiador de calor para tener un tratamiento apropiado para el vapor y los gases de escape. Por primera instancia, se mandaron ambas salidas de los filtros de las etapas de tratamiento de agua y separación a un tornillo transportador, posteriormente se pasaron a un secador rotatorio para secar dichos lodos y se pudieran quemar en la caldera.

Una vez saliendo del secador rotatorio, se mandó por una banda transportadora y se mezcló la salida del reactor anaerobio la cual contenía agua y metano. Una vez mezclado todo, se mandó a la caldera en la cual se ajustó una salida de cenizas del 10% y una salida de vapor saturado de la caldera de 380°C y una presión de 41 bar. Por la otra salida de la caldera se mandó el nitrógeno, dióxido de carbono, 10% de las cenizas, oxígeno, dióxido de sulfuro y una pequeña parte de agua al precipitador electrostático. Dentro del precipitador electrostático se removió el 98.5% de las cenizas, y el resto se mandó a recircular al intercambiador de calor. En la figura 7 se muestra la etapa de cogeneración con los cambios mencionados anteriormente.

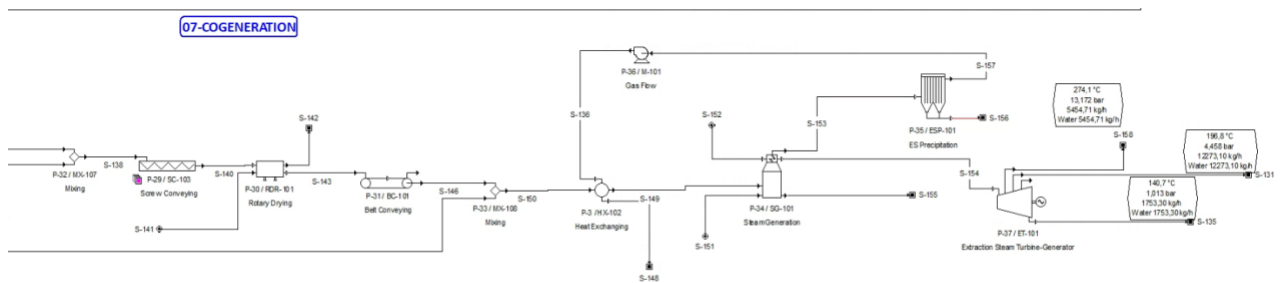


Figura 7. Etapa de tratamiento de cogeneración de ambos modelos finales

En la tabla 3 se muestran las salidas de la turbina de ambos modelos, observando una cantidad mayor de salida de agua para el modelo con vinazas.

Tabla 3. Salidas de la turbina para ambos modelos finales

Modelo con vinazas		Modelo sin vinazas	
Salida de vapor @274°C y 13.172bar	$5454.71 \frac{kg}{h}$	Salida de vapor @279°C y 13.172bar	$3783.65 \frac{kg}{h}$
Salida de vapor @196.8°C y 4.458bar	$12273.10 \frac{kg}{h}$	Salida de vapor @205.8°C y 4.458bar	$8513.21 \frac{kg}{h}$
Salida de agua @140.7°C y 1.013bar	$1753.30 \frac{kg}{h}$	Salida de agua @155.1°C y 1.013bar	$1216.17 \frac{kg}{h}$

Cálculo del precio mínimo de venta del etanol

Se implementó el uso de un Excel obtenido dentro del Laboratorio de Futuros en Bioenergía editado por última vez por Stephanie Martínez Victoria, a partir del cual se realizaba el cálculo del precio mínimo de venta de un solo producto de un proceso a partir de diversos parámetros y resultados obtenidos por medio de SPD, tales como el costo de equipos, la cantidad de vapor requerido y producido, las entradas y salidas del sistema, las materias primas entre otros. A partir de este modelo, se podía determinar el precio mínimo de venta del producto requerido iterando dicho calor para calcular el costo total de ingresos de dicho producto, y posteriormente obtener un Valor Presente Neto (VPN) igual a cero.

El documento de Excel se divide en 3 secciones principales, las cuales son

- Extracción de datos de Super Pro Designer
- Cálculo de gasto energético
- Cálculo del VPN

Extracción de datos de SPD

Dentro de la primera sección de extracción de datos, se introdujeron manualmente los valores de una tabla de materia prima/insumos, en los cuales se estableció la cantidad de materia prima, el precio, la rama en la que se encontraba dicha materia dentro del modelo de SPD y el costo total de insumos. En las tablas 4 y 5 se presenta la tabla de materia prima/insumos actualizada para el modelo implementado. En la tabla 3 se presenta para el modelo con vinazas y en la tabla 4 para el modelo sin vinazas, en el cual únicamente cambia la cantidad de agua implementada.

Tabla 4. Materia prima/insumos con vinazas

Modelo Actualizado PETA - con vinazas					
Materia prima/insumos (kg/hr)					
Entrada SPD	Nombre SPD	Nombre	kg/hr	Precio (\$/kg)	Costo total (\$/año)
111A	Bagazo de agave	PAJA	20,833.33	0.0390	\$ 6,434,999.96
	Water	Agua	21,664.4446	0.0002	\$ 34,316.48
201	Ácido Sulfúrico	Ácido Sulfúrico	108.33	0.0270	\$ 23,165.29
S-115	Hidróxido de Calcio (0.5M)	Base	2,254.56	0.00295	\$ 52,711.25
401	Celulas	Enzimas	227.86	1.6130	\$ 2,910,902.39
S-119		Nutrientes	187.86		
S-119	Licor de maíz	Licor de maíz	164.62	1.3100	\$ 1,707,965.42
S-119	DAP	DAP	23.24	1.3100	\$ 241,119.65
Costo total de materia/insumos (USD/año)					\$11,405,180.44

Tabla 5. Materia prima/insumos sin vinazas

Modelo Actualizado PETA - sin vinazas					
Materia prima/insumos (kg/hr)					
Entrada SPD	Nombre SPD	Nombre	kg/hr	Precio (\$/kg)	Costo total (\$/año)
111A	Bagazo de agave	PAJA	20,833.33	0.0390	\$ 6,434,999.96
	Water	Agua	16,952.1464	0.0002	\$ 26,852.20
201	Ácido Sulfúrico	Ácido Sulfúrico	108.33	0.0270	\$ 23,165.29
S-115	Hidróxido de Calcio (0.5M)	Base	2,254.56	0.00295	\$ 52,711.25
401	Celulas	Enzimas	227.86	1.6130	\$ 2,910,902.39
S-119		Nutrientes	187.86		
S-119	Licor de maíz	Licor de maíz	164.62	1.3100	\$ 1,707,965.42
S-119	DAP	DAP	23.24	1.3100	\$ 241,119.65
Costo total de materia/insumos (USD/año)					\$11,397,716.16

Para obtener la cantidad de agua requerida dentro del sistema, se modificó una tabla de entrada y salidas de agua del proceso, así como se tomaron en cuenta las recirculaciones que se realizarían dentro del proceso, las cuales no se podían implementar en SPD. Se presentó la cantidad de agua recirculada, así como hacia qué operación unitaria se dirigía dicha cantidad de agua. A partir de esto, se calculó el porcentaje de recirculación, obteniendo la cantidad de agua final requerida, dichos parámetros se presentan en las tablas 6 y 7.

Tabla 6. Materia prima/insumos con vinazas

BALANCE DE AGUA				
Entrada Total (kg/h)			36,764.44	
Entrada SPD	Nombre SPD	Operación	Entradas (kg/h)	Agua recirculada (kg/hr)
202	Agua	Pre-remojo Pretratamiento (P14 / 202)	15,000.00	15,000.00
203	Agua	Agua fresca - pretratamiento (P14 / MX-104)	2,083.33	0
802	Agua	Torre adsorción en compresión CO2 (P-4/ C-101)	100.00	0
S-127	Agua	Rotatorio WWT (06-FR-616)	100.00	100.00
701	Agua	Generación de Vapor (P72 /701)	19,481.11	0
Salida total (kg/h)			15,100.00	Agua a recircular (kg/h)

803	Agua	Torre de adsorción (P-4 /C-101)	119.19	0
S-108	Agua	Salida tratamiento de agua (P63/06-SV-611)	29,348.33	15,100.00
713	Agua	Salida 3 de cogeneración (P73/07-SE-704)	1,753.30	0
Salida total de agua (kg/h)			31,220.82	
Porcentaje de reciclado (%)			48	
CANTIDAD DE AGUA FINAL (kg/h)			21,664.44	

Tabla 7. Materia prima/insumos sin vinazas

BALANCE DE AGUA				
Entrada Total (kg/h)			30,796.36	
Línea SPD	Nombre SPD	Operación	Entradas (kg/h)	Agua recirculada (kg/hr)
202	Agua	Pre-remojado Pretratamiento (P14 / 202)	15,000.00	13,742.34
203	Agua	Agua fresca - pretratamiento (P14 / MX-104)	2,083.33	0
802	Agua	Torre adsorción en compresión CO2 (P-4/ C-101)	100.00	0
S-127	Agua	Rotatorio WWT (06-FR-616)	100.00	100.00
701	Agua	Generación de Vapor (P72 /701)	13,513.03	0
Salida total (kg/h)			13,844.22	Agua a recircular (kg/h)
803	Agua	Torre de adsorción (P-4 /C-101)	119.19	0
S-108	Agua	Salida tratamiento de agua (P63/06-SV-611)	13,844.22	13,844.22
713	Agua	Salida 3 de cogeneración (P73/07-SE-704)	1,216.17	0
Salida total de agua (kg/h)			15,179.58	
Porcentaje de reciclado (%)			91	
CANTIDAD DE AGUA FINAL (kg/h)			16.952.15	

De acuerdo a las tablas 6 y 7, se observa que para el modelo con vinazas la generación de vapor es menor y la cantidad de agua tratada mayor, por lo que se tiene un mayor porcentaje de recirculación y una mayor cantidad de agua final, lo cual genera un mayor costo.

Posteriormente, se modificaron las celdas del producto, ya que solamente se tenían para un producto principal. Se realizó una tabla para el producto principal, el cual fue el etanol, y posteriormente una segunda tabla para los coproductos deseados, el cual fue solamente el dióxido de carbono para dicho modelo. Se determinó el precio de venta del CO_2 establecido dentro de LFB con un precio de 0.17 dólares por kilogramos. A partir de dicho valor, se determinaron los ingresos de dichos coproductos, los cuales se presentan en la tabla 8, multiplicando la cantidad de producto obtenido por su precio de venta fijo. En dicho programa de Excel, se modificó para poder ingresar más de un coproducto y determinar el ingreso de cada uno en caso de que sea necesario en un futuro.

Tabla 8. Coproducto requerido para el modelo

COPRODUCTOS (kg/h)				
Entrada SPD	Nombre	Cantidad (kg/h)	Precio de venta (USD/kg)	Ingresos (\$/año)
805	CO_2 @99.997%	6091.44	0.17	8,201,516.16

A partir del programa de SPD se obtuvieron los valores de demanda y producción de electricidad, vapor y agua de refrigeración, obteniendo los servicios y electricidad de la planta para ambos modelos, los cuales se presentan en las tablas 9 y 10.

Tabla 9. Costo de servicios y electricidad para el modelo con vinazas

SERVICIOS			
Entrada SPD	Nombre SPD	Demanda/ producción	Cantidad
Análisis CXL Sección (1.3)	Demanda total de vapor	ELECT demanda (kW) -0.10 \$/Kw	4,288.88
PG	Generación de vapor	ELECT produccion (kW)	1,382.06
Análisis CXL Sección (1.1)	Vapor	VAP LP demanda (kg/h)	16,096.59
714		VAP LP prod (kg/h) -12 \$/ton-	12,273.10
Análisis CXL Sección (1.1)	Vapor alta presión	VAP HP demanda (kg/h)	34,299.62
715		VAP HP prod (kg/h) -20 \$/ton-	5,454.71
Análisis CXL Sección (1.1)	Agua enfriamiento	Cooling water (kg/h) -0.05 \$/ton-	5,167,665.00
Servicios (\$/año)			598,161.52
Electricidad (\$/año)			2,302,201.44

Tabla 10. Costo de servicios y electricidad para el modelo sin vinazas

SERVICIOS			
Entrada SPD	Nombre SPD	Demanda/ producción	Cantidad
Análisis CXL Sección (1.3)	Demanda total de vapor	ELECT demanda (kW) -0.10 \$/Kw	4,063.52
PG	Generación de vapor	ELECT produccion (kW)	899.14
Análisis CXL Sección (1.1)	Vapor	VAP LP demanda (kg/h)	16,096.59
714		VAP LP prod (kg/h) -12 \$/ton-	8,513.21
Análisis CXL Sección (1.1)	Vapor alta presión	VAP HP demanda (kg/h)	34,299.62
715		VAP HP prod (kg/h) -20 \$/ton-	3,783.65
Análisis CXL Sección (1.1)	Agua enfriamiento	Agua enfriamiento (kg/h) -0.05 \$/ton-	5,088,282.56
Servicios (\$/año)			574,998.02
Electricidad (\$/año)			2,002,302.72

Se obtuvo el costo de equipos en SPD, el cual fue de 18,591,000 USD para el modelo con vinazas, y de 14,741,000 USD para el modelo sin vinazas.

Cálculo de VPN

Dentro de la hoja de excel, se encuentran 4 secciones, las cuales son el costo capital (sección azul), el costo de operación (sección naranja), el VPN (sección verde) y el cálculo de anualidad de crédito (sección gris) como se muestra en la figura 5.

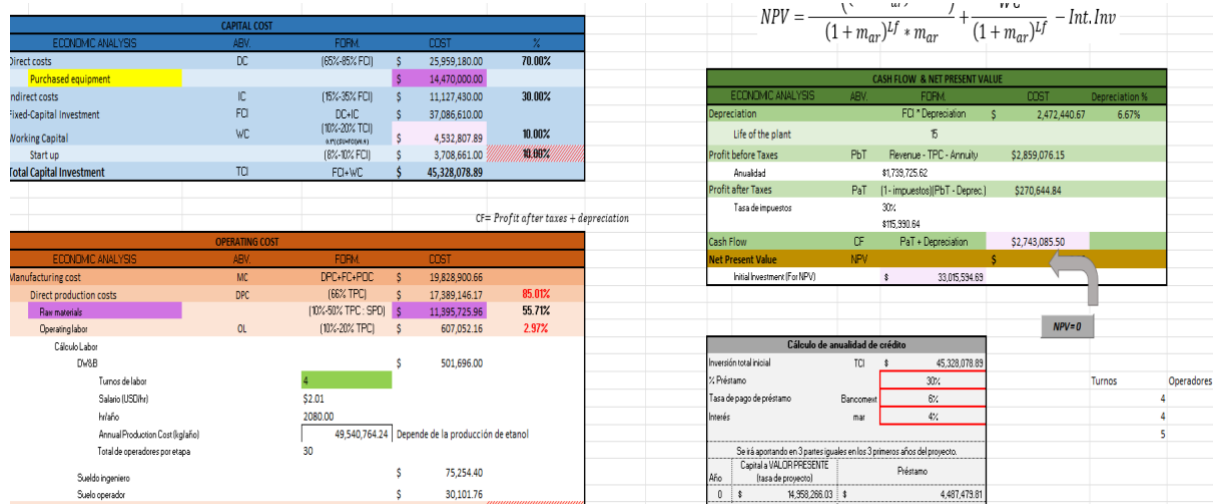


Figura 5. División de secciones dentro de la hoja de VPN

Dentro de la sección de costo capital, se modificó únicamente el costo de equipos a partir del cual se obtuvo la inversión de capital total para ambos modelos. La única sección en la que se realizaron modificaciones en la manera del cálculo fue en la sección del costo de operación.

Se determinó la cantidad de operadores para cada sección de acuerdo a la cantidad inicial de materia prima de 500 toneladas por día de bagazo de agave y el tipo de proceso para dicha sección, ya fuera, sólido, líquido, o sólido- líquido. Se determinó la cantidad de operadores para cada etapa de acuerdo al tipo de proceso, y posteriormente se multiplicó por 2 debido a que para una entrada mayor de 100 toneladas por día, se requiere multiplicar el número de operadores por dos en cada etapa [7]. En la tabla 11 de muestra el número de operadores calculado de acuerdo a los parámetros previamente mencionados.

Tabla 11. Cantidad de operadores

Tipo de proceso	Tipo de operación continua	Etapas	Operadores por etapa
Sólido	3	Acondicionamiento	6
Sólido- fluido	3	Pretratamiento	6
Sólido- fluido	3	Sacarificación y fermentación	6
Sólido- fluido	2	Separación	4
Sólido- fluido	2	Tratamiento aguas	4
Sólido- fluido	2	Cogeneración	4
		Total de operadores	30

Se determinó un total de 30 operadores, con 4 turnos y una jornada de 2080 horas por año a partir de los parámetros establecidos dentro del LFB. Posteriormente, se corrió el programa para obtener diversos parámetros, entre ellos el costo total de producción y el precio mínimo de venta del etanol.

Para calcular los ingresos totales, se calcularon los ingresos de CO_2 presentados previamente en la tabla 7 obteniendo una cantidad de 8,201,516.16 USD con un precio de venta de 0.17 USD/kg. Dicho precio se mantuvo constante, dejando como única variable el precio mínimo de venta del etanol. Para los ingresos totales se implementó la ecuación 1.

$$Ingresos_{Totales} = \left[\frac{\text{cantidad de etanol producido } \left(\frac{kg}{hr} \right) \cdot 7920 \left(\frac{hr}{año} \right)}{0.79 \text{ (densidad de etanol)}} \cdot \text{Precio de venta de etanol \$ (solver)} \right] + Ingresos_{CO_2}(\$)$$

Ecuación 1. Cálculo de ingresos totales

Sustituyendo en la ecuación dejando como única incógnita el precio de venta del etanol:

$$Ingresos_{Totales} = \left[\frac{6255.15 \frac{kg}{hr} \cdot 7920 \frac{hr}{año}}{0.79 \frac{kg}{L}} \cdot \text{Precio de venta de etanol \$ (solver)} \right] + \$ 8,201,516.16$$

Posteriormente se corrió el *solver* para obtener el precio mínimo de venta del etanol con un Valor Presente Neto (VPN) de cero, y simultáneamente obtener el costo de ingresos totales y el Costo Total de Producción (CTP). A partir de los parámetros obtenidos por el programa de EXCEL, se realizó una tabla comparativa entre el modelo con vinazas y el modelo sin vinazas. En la tabla 12 se presenta en precio mínimo de venta para cada modelo, así como el costo total de producción cuando el VPN es igual a cero.

Tabla 12. Precio mínimo de venta del etanol de ambos modelos

	Sin vinazas	Con vinazas
Costo total de equipos (USD)	\$14,741,000	\$18,591,000
TCI (Inversión de Capital Total) \$	\$46,177,001.44	\$58,237,340.33
Materia prima/insumos (USD)	\$11,397,716.16	\$11,405,180.44
Servicios (USD/año)	\$566,726.07	\$598,161.52
Electricidad (USD/año)	\$2,506,188.96	\$2,302,201.44
Ingresos (USD/año)	\$25,740,311.98	\$28,069,204.94
Precio mínimo de venta del etanol (USD/L)	0.28	0.32
Precio mínimo de venta del etanol (USD/kg)	0.35	0.40
CTP (Costo Total de Producción)	\$21,055,382.00	\$22,160,682.23

En la tabla 11 se determinó un precio mínimo de venta de $0.28 \frac{USD}{L}$ para el modelo sin vinazas, y un precio de $0.32 \frac{USD}{L}$ para el modelo con vinazas. Se observa que para el modelo sin vinazas disminuye el precio mínimo de venta, debido al costo de equipos, electricidad, entre otros, por lo que se obtiene un CTP menor, por otro lado, el precio de electricidad disminuye en el modelo con vinazas.

Porcentaje de Asignación para cada producto

A partir del Costo Total de Producción (CTP) del modelo, se calculó el porcentaje de asignación del CTP del etanol y del CTP de CO_2 , para tener noción sobre qué cantidad de este costo pertenece al etanol y cuál al CO_2 .

$$CTP_T = CTP_{CO_2} + CTP_{Etanol} = (CTP_T \cdot \%asignación_{CO_2}) + (CTP_T \cdot \%asignación_{Etanol})$$

Ecuación 2. Cálculo de CTP total

Se calculó el porcentaje de asignación para cada producto multiplicando la producción de cada producto por las horas de operación anuales y por el precio de venta, obteniendo el costo de ventas anuales de cada producto. Posteriormente se sumaron dichas ventas para tener la cantidad de ventas anuales totales, y se dividieron las ventas anuales de cada producto entre las ventas totales anuales, obteniendo el porcentaje de asignación como se muestra en las tablas 13 y 14.

Tabla 13. Porcentaje de asignación de cada producto del modelo con vinazas

Porcentaje de asignación						
Clasificación	Nombre	Producción (kg/h)	Hrs de operación anuales (h y)	Precio de venta (USD/kg)	Ventas (\$/año)	% Asignación
Producto	Etanol	6255.15	7920.00	0.40	1.987×10^7	70.78%
Coproducto	CO2	6091.44	7920.00	0.17	8.202×10^6	29.22%
Ventas totales anuales (USD/año)					2.807×10^7	100%

Tabla 14. Porcentaje de asignación de cada producto del modelo sin vinazas

Porcentaje de asignación						
Clasificación	Nombre	Producción (kg/h)	Hrs de operación anuales (h y)	Precio de venta (USD/kg)	Ventas (\$/año)	% Asignación
Producto	Etanol	6255.15	7920.00	0.35	1.754×10^7	68.14%
Coproducto	CO2	6091.44	7920.00	0.17	8.202×10^6	31.86%
Ventas totales anuales (USD/año)					2.574×10^7	100%

Una vez obtenido el porcentaje de asignación de cada producto, se calculó el costo total de producción para cada producto, multiplicando el CTP por cada porcentaje. Los CTP para cada producto y modelo se presentan en la tabla 15.

Tabla 15. CTP total y de cada producto

Modelo con vinazas			Modelo sin vinazas		
Producto	% asignación	CTP (USD)	Producto	% asignación	CTP (USD)
Etanol	70.78	15,685,572.09	Etanol	68.14	14,346,603.34
CO_2	29.22	6,475,110.14	CO_2	31.86	6,708,778.66
CTP_T (\$)	22,160,682.23		CTP_T (\$)	21,055,382.00	

1.6. Valoración de productos, resultados e impactos

Impacto

A partir de la modificación de la etapa de tratamiento de agua se disminuyó la cantidad de agua implementada en el proceso, lo cual ayuda a disminuir la cantidad de materias primas/insumos requeridos en el proceso, así como se implementa solamente la cantidad de agua necesaria, la cual también disminuye la cantidad de agua que entra en la etapa de cogeneración.

En la etapa de cogeneración, a partir de las modificaciones realizadas, se tiene una representación más clara y precisa del proceso, ya que dentro del modelo de SPD se permiten ciertos parámetros los cuales nos son viables o aptos a escala industrial, especialmente al momento de seguir normas y regulaciones específicas de acuerdo a cada proceso. Al agregar el secador rotatorio y mezclas la salida del reactor anaerobio de metano y agua después del secador, permite que dichos lodos puedan ser tratados y quedamos de manera apropiada, lo cual evitaría problema a futuro en los equipos de intercambiador de calor, la caldera, la turbina y el precipitador electrostático.

Al implementar una herramienta para realizar el análisis económico fuera de SPD, se logró determinar el precio mínimo de venta del etanol para ambos modelos realizados. Al determinar un Valor Presente Neto de cero, se puede determinar el precio mínimo de venta

de un producto, lo cual indica en un proceso a partir de qué valor y parámetros se pueden comenzar a tener ganancias. Al realizar dicho análisis con la herramienta de Excel, se logró agregar el precio fijo de un coproducto tal como el dióxido de carbono de 0.17 USD/kg, y determinar los ingresos totales tomando en cuenta el coproducto. A partir de esto, se determinó el costo total de producción, así como el porcentaje de asignación económica para cada producto y el CTP para cada producto. Al conocer el porcentaje de asignación económica de cada producto dentro de un proceso, se pueden tomar decisiones sobre si se puede aumentar el precio de venta de estos, así como las ganancias que cada uno genera y el impacto que ambos tienen por separado a la planta.

Por otro lado, el programa de Excel permite determinar el porcentaje de recirculación de cada modelo, tomando en cuenta las entrada y salidas totales de agua, así como de qué salida se realizará la recirculación y hacia qué entradas se puede dirigir esta agua. A partir de las tablas 6 y 7 se calculó un porcentaje de recirculación del 48% con una cantidad final de agua de $21,664.44 \frac{kg}{h}$ para el modelo con vianzas, así como un porcentaje de recirculación del 91% con una cantidad de agua final de $16,952.15 \frac{kg}{h}$. Dicho análisis indica exactamente la cantidad de agua que se va a recircular, obteniendo la cantidad final de agua de un proceso, lo cual se toma en cuenta para el costo final del agua, lo cual no se puede realizar dentro del análisis de SPD, ya que no se pueden realizar todas las recirculaciones directamente.

En relación a los costos de producción unitarios obtenidos en el proyecto realizado en primavera 2023, los precios mínimos de venta obtenidos de $0.28 \frac{USD}{L}$ para el modelo sin vinazas, y de $0.32 \frac{USD}{L}$ para el modelo con vinazas, dichos precios se encuentran en relación del precio del coproducto del dióxido de carbono, obteniendo un precio realista en cuanto a los parámetros requeridos dentro del LFB.

Conclusiones

Se determinó que a partir de las actualizaciones realizadas en las etapas de cogeneración y tratamiento de agua dentro de ambos modelos con y sin vinazas, se presenta una disminución en la cantidad de agua implementada, así como el hecho de realizar un secado antes de

mandar los lodos directamente al intercambiador de calor, proporcionan una representación más realista sobre dicho proceso, así como evita que dichas operaciones unitarias y equipos puedan llegar a un límite de acumulación o que disminuya la durabilidad de dichos equipos.

A partir del análisis económico se realizó el balance de agua obteniendo la cantidad de agua final, así como los porcentajes de recirculación de 48% para el modelo con vinazas y de 91% para el modelo sin vinazas. Se determinó el costo de servicios y electricidad para ambos modelos, los cuales se presentan en la tabla 12, a partir de los cuales se presenta un mayor costo de servicio para el modelo con vinazas con una diferencia de 31,435.45 USD. Por otro lado, se determinó un costo de electricidad para el modelo con vinazas de \$2,302,201.44 y un costo de \$2,506,188.96 para el modelo sin vinazas.

Se calcularon los ingresos totales para ambos modelos obteniendo \$25,740,311.98 con un precio de venta mínimo del etanol de $0.28 \frac{USD}{L}$ para el modelo sin vinazas, en cambio se determinó un precio de \$28,069,204.94 con un precio de venta mínimo de $0.32 \frac{USD}{L}$ para el modelo con vinazas.

A partir del precio mínimo de venta del producto principal se puede determinar el porcentaje de asignación de cada productos y su respectivo costo total de producción, lo cual permite tener una mayor noción sobre qué producto genera más ganancias, a qué escala y qué tanto se puede aumentar este costo de acuerdo a lo que requiera cada empresa.

La disponibilidad de ambos modelos actualizados, abre un gran campo de opciones al momento del llevar a cabo el diseño conceptual a nivel industrial, mostrando distintas alternativas dependiendo de aquello que se quiera obtener, de acuerdo a las condiciones de operación establecidas o requeridas, y tomando en cuenta el aspecto económico más conveniente de acuerdo a cada empresa, industria, institución, etc.

Aspectos Pendientes

Se tiene contemplada una tercera etapa del proyecto en la cual se realice el análisis de sostenibilidad del modelo actualizado. A partir de este modelo actualizado, se espera

construir la versión preliminar del modelo de proceso de producción metabolitos de interés por medio de la reacción de Guerbet, tomando como materia prima el bioetanol producido a partir de dicho modelo actualizado, por medio del simulador de Super Pro Designer. A partir del modelo preliminar realizar el análisis técnico económico y de sostenibilidad del proceso.

1.7. Bibliografía y otros recursos

1. . I. L. Valera Jaso. "La producción y el comercio de los biocombustibles en México y en el mundo". CEDRSSA. <http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/56Producción%20y%20comercio%20de%20biocombustibles.pdf>.
2. D. Gabriëls, W. Y. Hernández, B. Sels, P. Van Der Voort y A. Verberckmoes. "Review of catalytic systems and thermodynamics for the Guerbet condensation reaction and challenges for biomass valorization". The Royal Society of Chemistry. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2015/cy/c5cy003>.
3. "Valor presente neto: qué es y cómo se calcula (incluye ejemplos)". Blog de HubSpot | Marketing, Ventas, Servicio al Cliente y Sitio Web. <https://blog.hubspot.es/sales/que-es-valor-presente-neto> (accedido el 9 de junio de 2023).
4. Cinvestav Guadalajara. <https://unidad.gdl.cinvestav.mx/> (accedido el 1 de marzo de 2023).
5. C. Nunez. "Explicación de qué son los combustibles fósiles". National Geographic. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/explicacion-que-son-combustibles-fosiles#:~:text=Estos%20combustibles%20no%20renovables,%20que,el%20acero%20hasta%20los%20plásticos>. (accedido el 27 de mayo de 2023).
6. SuperPro Designer. (s.f.). ICESI Portal de Servicios. <https://www.icesi.edu.co/servicios/superprodesigner/#:~:text=SuperPro%20Designer%20es%20una%20herramienta,y%20evaluación%20de%20impacto%20ambiental>.
7. W. D. Seider, D. R. Lewin, J. D. Seader y S. Widagdo, Product and Process Design Principles: Synthesis, Analysis and Design. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2008.

1.8 Anexos Generales

Se presentan los anexos de ambos modelos actualizados mencionados en la sección de productos.

Modelo final con vinazas

Modelo final sin vinazas



PETA_AndreaFINAL_P
E CAMBIOS (1).spf



PETA_AndreaFINAL_
VS_PE CAMBIOS (1).s

2. Productos

Ficha descriptiva de: Reporte técnico de simulación del proceso de producción de etanol

Nombre y código del PAP	4G03B Programa de Apoyo a Centros de Investigación externos I
Nombre del proyecto	Actualización del modelo del proceso de producción de etanol y análisis económico del modelo realizado dentro del Laboratorio de Futuros en Bioenergía
Descripción (qué es, para quién se realizó y para qué es):	Reporte en el cual se mencionan los antecedentes del modelo actualizado, las modificaciones realizadas y en el modelo y la interpretación del análisis técnico económico. El reporte fue realizado para el Dr. Arturo Sánchez y proporciona las actualizaciones del modelos y el análisis económico realizado para ambos modelos. Dicho reporte presentando solamente incluye las actualizaciones realizadas en el modelos en el PAP de Verano 2023, como continuación de reporte técnico reportado

	en primavera 2023, así como el análisis económico del ambos modelos y su interpretación.
Autores:	Andrea Soto Oseguera

A continuación se presentan solamente las secciones del reporte técnico que fueron modificadas en el PAP de verano 2023, el reporte técnico completo se presenta en el reporte PAP de primavera 2023.



PRESENTAN

Programas educativos y Estudiantes

Reporte Técnico de Simulación de Proceso de Producción de Bioetanol

Ing. Química, Andrea Soto Oseguera

Profesor PAP: Dr. Arturo Sánchez Carmona

Tlaquepaque, Jalisco, Mayo de 2023

Resumen

Se actualizó el modelo del proceso de producción de bioetanol (PETA) en el simulador SPD (Super Pro Designer), y se realizó el análisis técnico económico (ATE) de dicha simulación a partir del modelo previo ÓptimoV10 elaborado por Stephanie Martinez y Carlos Castro, alumnos de maestría del Cinvestav, Unidad Guadalajara. Se analizaron las operaciones unitarias se modificaron las condiciones de ciertas etapas del proceso tal como la de overliming. Se cambiaron ciertas condiciones de los procesos de la planta para aumentar la cantidad de bioetanol producido e incorporar las nuevas condiciones requeridas a partir de las actualizaciones investigadas a lo largo de los últimos años.

Se realizaron dos simulaciones para la etapa de tratamiento de agua con el uso vinazas y sin vinazas disminuyendo la cantidad de agua tratada en el modelo sin vinazas. Se realizó el análisis técnico económico dejando fijo el precio de venta de coproducto del CO_2 de $0.17 \frac{USD}{kg}$ fijo, tomando como variable el precio mínimo de venta del etanol y considerando un Valor Presente Neto (VPN) de cero.

Se obtuvo un precio mínimo de venta del etanol de 0.32\$/L para el modelo con vinazas y un precio de 0.28\$/L para el modelo sin vinazas realizando iteraciones para un Valor Presente Neto de cero, considerando la cantidad final de agua a partir del porcentaje de recirculación calculado para cada modelo. El cálculo del Costo Total de Producción (CTP) de cada coproducto se realizó por medio de asignación económica.

Contenido

<u>Resumen</u>	2
<u>1. Introducción</u>	3
<u>2. Diseño conceptual</u>	4
<u>3. Antecedentes</u>	4
<u>4. Modificaciones del modelo</u>	5
<u>1. Acondicionamiento</u>	5
<u>2. Pretratamiento</u>	6
<u>3. Disminución de pH</u>	8
<u>4. Sacarificación</u>	9
<u>5. Fermentación</u>	10
<u>6. Separación</u>	11
<u>7. Tratamiento de agua</u>	13
<u>4.7.1 Tratamiento de agua PETA</u>	14
<u>4.7.2 Tratamiento con vinazas</u>	15
<u>4.7.3 Tratamiento sin vinazas</u>	16
<u>8. Cogeneración</u>	18
<u>5. Análisis técnico económico</u>	19
<u>5.1 Cálculo del precio mínimo de venta con VPN igual a cero</u>	19
<u>5.2 Porcentaje de asignación para cada producto</u>	26
<u>6. Diagramas de Bloques</u>	28
<u>7. Resultados</u>	30
<u>8. Referencias</u>	31

8. Cogeneración

Dentro de la fase de cogeneración, se agregó un precipitador electrostático para disminuir las emisiones de dióxido de carbono después del intercambiador de calor considerando una eficiencia de total de remoción del 98.5% para el CO_2 . Dentro de la caldera se agregaron los porcentajes de las composiciones de carbono, hidrógeno y oxígeno del furfural para este se quemara dentro de la caldera, a la cual llegaba un porcentaje de composición en masa del 0.0002%. Finalmente, se determinó un precio de disposición “disposal cost” del CO_2 de $0.0643 \frac{USD}{kg}$ [4] para que fuera considerado dentro del análisis técnico-económico (ATE).

Dentro de la etapa de cogeneración llegaban las 3 salidas del reactor anaerobio, del filtro de tratamiento de agua y del filtro de la etapa de separación. Las tres salidas se combinaban y llegaban al intercambiador como se muestra en la figura 6, para posteriormente mandar los gases al precipitador electrostático y el reto a la caldera, y finalmente a la turbina, de la cual se obtenía vapor, vapor de alta presión y agua.

Los lodos salientes de las 3 corriente se deben secar antes de entrar al intercambiador de calor para tener un tratamiento apropiado para el vapor y los gases de escape. Por primera instancia, se mandaron ambas salidas de los filtros de las etapas de tratamiento de agua y separación a un tornillo transportador, posteriormente se pasaron a un secador rotario para secar dichos lodos y se pudieran quemar en la caldera.

Una vez saliendo del secador rotatorio, se mandó por una banda transportadora y se mezcló la salida del reactor anaerobio la cual contenía agua y metano. Una vez mezclado todo, se mandó a la caldera en la cual se ajustó una salida de cenizas del 10% y una salida de vapor sobrecalentado de la caldera de $380^{\circ}C$ y a una presión de 41 bar. Por la otra salida de la caldera se mandó el nitrógeno, dióxido de carbono, 10% de las cenizas, oxígeno, dióxido de sulfuro y una pequeña parte de agua al precipitador electrostático. Dentro del precipitador electrostático se removió el 98.5% de la cenizas. La corriente de salida de gases de escape se

envía al intercambiador de calor. En la Figura 7 se muestra la etapa de cogeneración con los cambios mencionados anteriormente.

Para la caldera se determinó una salida de vapor a 380°C y 41 bar y una temperatura de salida del gas de 160°C. Se determinó un porcentaje de pérdidas energéticas del 5% y un porcentaje de salidas de cenizas en el gas del 10%.

1. Análisis técnico económico

5.1 Cálculo del precio mínimo de venta con VPN de cero

Se implementó el uso de un Excel obtenido dentro del Laboratorio de Futuros en Bioenergía editado por última vez por Stephanie Martínez Victoria, a partir del cual se realizaba el cálculo del precio mínimo de venta de un solo producto de un proceso a partir de diversos parámetros y resultados obtenidos por medio de SPD, tales como el costo de equipos, la cantidad de vapor requerido y producido, las entradas y salidas del sistema, las materias primas entre otros. A partir de este modelo, se podía determinar el precio mínimo de venta del producto requerido iterando dicho valor para calcular el costo total de ingresos de dicho producto, y posteriormente obtener un Valor Presente Neto (VPN) igual a cero.

La primera pestaña de extracción de datos se modificó para introducir manualmente la cantidad de materia prima y el costo total de insumos. En las Tablas 25 y 26 se presenta las tablas de materia prima/insumos actualizada para el modelo implementado.

Tabla 25. Materia prima/insumos con vinazas

Modelo Actualizado PETA - con vinazas					
Materia prima/insumos (kg/hr)					
Entrada SPD	Nombre SPD	Nombre	kg/hr	Precio (\$/kg)	Costo total (\$/año)
111A	Bagazo de agave	PAJA	20,833.33	0.0390	\$ 6,434,999.96
	Agua	Agua	21,664.4446	0.0002	\$ 34,316.48
201	Ácido sulfúrico	Ácido Sulfúrico	108.33	0.0270	\$ 23,165.29

S-115	Hidróxido de calcio (0.5M)	Base	2,254.56	0.00295	\$ 52,711.25
401	Células	Enzimas	227.86	1.6130	\$ 2,910,902.39
S-119		Nutrientes	187.86		
S-119	Licor de maíz	Corn Liquor	164.62	1.3100	\$ 1,707,965.42
S-119	DAP	DAP	23.24	1.3100	\$ 241,119.65
Costo total de materia/insumos (USD/año)					\$11,405,180.44

Tabla 26. Materia prima/insumos sin vinazas

Modelo Actualizado PETA - sin vinazas					
Materia prima/insumos (kg/hr)					
Entrada SPD	Nombre SPD	Nombre	kg/hr	Precio (\$/kg)	Costo total (\$/año)
111A	Bagazo de agave	PAJA	20,833.33	0.0390	\$ 6,434,999.96
	Agua	Agua	16,952.1464	0.0002	\$ 26,852.20
201	Ácido sulfúrico	Ácido Sulfúrico	108.33	0.0270	\$ 23,165.29
S-115	Hidróxido de calcio (0.5M)	Base	2,254.56	0.00295	\$ 52,711.25
401	Células	Enzimas	227.86	1.6130	\$ 2,910,902.39
S-119		Nutrientes	187.86		
S-119	Licor de maíz	Corn Liquor	164.62	1.3100	\$ 1,707,965.42
S-119	DAP	DAP	23.24	1.3100	\$ 241,119.65
Costo total de materia/insumos (USD/año)					\$11,397,716.16

Se realizó el balance de agua general del proceso indicado las salidas y entradas de agua. Se agregó un apartado para indicar la cantidad de agua a recircular, así como hacía dónde se recircularía y qué cantidad se recircularía a cada sección mencionada. A partir de esto, se

calculó el porcentaje de recirculación, obteniendo la cantidad de agua final requerida, dichos parámetros se presentan en las Tablas 27 y 28.

Tabla 27. Materia prima/insumos con vinazas

BALANCE DE AGUA				
Entrada Total (kg/h)			36,764.44	
Entrada SPD	Nombre SPD	Operación	Entradas (kg/h)	Agua recirculada (kg/hr)
202	Agua	Pre-remojo Pretratamiento (P14 / 202)	15,000.00	15,000.00
203	Agua	Agua fresca - pretratamiento (P14 / MX-104)	2,083.33	0
802	Agua	Torre adsorción en compresión CO2 (P-4/ C-101)	100.00	0
S-127	Agua	Rotatorio WWT (06-FR-616)	100.00	100.00
701	Agua	Generación de Vapor (P72 /701)	19,481.11	0
Salida total (kg/h)			15,100.00	Agua a recircular (kg/h)
803	Agua	Torre de adsorción (P-4 /C-101)	119.19	0
S-108	Agua	Salida tratamiento de agua (P63/06-SV-611)	29,348.33	15,100.00
713	Agua	Salida 3 de cogeneración (P73/07-SE-704)	1,753.30	0
Salida total de agua (kg/h)			31,220.82	
Porcentaje de reciclado (%)			48	
CANTIDAD DE AGUA FINAL (kg/h)			21,664.44	

Tabla 28. Materia prima/insumos sin vinazas

BALANCE DE AGUA				
Entrada Total (kg/h)			30,796.36	
Entrada SPD	Nombre SPD	Operación	Entradas (kg/h)	Agua recirculada (kg/hr)
202	Agua	Pre-remojo Pretratamiento (P14 / 202)	15,000.00	13,742.34
203	Agua	Agua fresca - pretratamiento (P14 / MX-104)	2,083.33	0
802	Agua	Torre adsorción en compresión CO2 (P-4/ C-101)	100.00	0
S-127	Agua	Rotatorio WWT (06-FR-616)	100.00	100.00
701	Agua	Generación de Vapor (P72 /701)	13,513.03	0
Salida total (kg/h)			13,844.22	Agua a recircular (kg/h)
803	Agua	Torre de adsorción (P-4 /C-101)	119.19	0
S-108	Agua	Salida tratamiento de agua (P63/06-SV-611)	13,844.22	13,844.22
713	Agua	Salida 3 de cogeneración (P73/07-SE-704)	1,216.17	0
Salida total de agua (kg/h)			15,179.58	
Porcentaje de reciclado (%)			91	
CANTIDAD DE AGUA FINAL (kg/h)			16.952.15	

Se incrementaron los renglones para incluir coproductos en el cálculo, ya que solamente se tenían para un producto principal.

Se realizó una tabla para el producto principal, el cual fue el etanol, y posteriormente una segunda tabla para los coproductos deseados, el cual fue solamente el dióxido de carbono.

En la tabla de dióxido de carbono se agregó la producción, el precio de venta y se calculó el ingreso de dicho coproducto.

Tabla 29. Coproducto requerido para el modelo

COPRODUCTOS (kg/h)				
Entrada SPD	Nombre	Cantidad (kg/h)	Precio de venta (USD/kg)	Ingresos (\$/año)
805	CO_2 @99.997%	6091.44	0.17	8,201,516.16

A partir del programa de SPD se obtuvieron los valores de demanda y producción de electricidad, vapor y agua de refrigeración, obteniendo los servicios y electricidad de la planta para ambos modelos, los cuales se presentan en las Tablas 30 y 31. Los valores de demanda se obtuvieron del análisis CXL del SPD en las secciones 1.1 y 1.3 como se mencionan en las tablas. Las producciones se obtuvieron en las salidas de vapor de la turbina y en la generación de vapor (*Power Generation*) indicada dentro de la turbina.

Tabla 30. Costo de servicios y electricidad para el modelo con vinazas

SERVICIOS			
Entrada SPD	Nombre SPD	Demanda/ producción	Cantidad
Análisis CXL Sección (1.3)	Demanda total de vapor	ELECT demanda (kW) -0.10 \$/Kw	4,288.88
PG	Generación de vapor	ELECT produccion (kW)	1,382.06
Análisis CXL Sección (1.1)	Vapor	VAP LP demanda (kg/h)	16,096.59
714		VAP LP prod (kg/h) -12 \$/ton-	12,273.10
Análisis CXL Sección (1.1)	Vapor de alta presión	VAP HP demanda (kg/h)	34,299.62
715		VAP HP prod (kg/h) -20 \$/ton-	5,454.71

Análisis CXL Sección (1.1)	Agua de enfriamiento	Agua de enfriamiento (kg/h) - 0.05 \$/ton-	5,167,665.00
	Agua de calentamiento	Agua de calentamiento (kg/h) - 0.4 \$/ton-	0.00
Servicios (\$/año)			598,161.52
Electricidad (\$/año)			2,302,201.44

Tabla 31. Costo de servicios y electricidad para el modelo sin vinazas

SERVICIOS			
Entrada SPD	Nombre SPD	Demanda/ producción	Cantidad
Análisis CXL Sección (1.3)	Demanda total de vapor	ELECT demanda (kW) -0.10 \$/Kw	4,063.52
PG	Generación de vapor	ELECT produccion (kW)	899.14
Análisis CXL Sección (1.1)	Vapor	VAP LP demanda (kg/h)	16,096.59
714		VAP LP prod (kg/h) -12 \$/ton-	8,513.21
Análisis CXL Sección (1.1)	Vapor de alta presión	VAP HP demanda (kg/h)	34,299.62
715		VAP HP prod (kg/h) -20 \$/ton-	3,783.65
Análisis CXL Sección (1.1)	Agua de enfriamiento	Agua de enfriamiento (kg/h) - 0.05 \$/ton-	5,088,282.56
	Agua de calentamiento	Agua de calentamiento (kg/h) - 0.4 \$/ton-	0.00
Servicios (\$/año)			574,998.02
Electricidad (\$/año)			2,002,302.72

Se obtuvo el costo de equipos en SPD, el cual fue de 18,591,000 USD para el modelo con vinazas, y de 14,741,000 USD para el modelo sin vinazas.

Se determinó la cantidad de operadores para cada sección de acuerdo con la cantidad inicial de materia prima de 500 toneladas por día de bagazo de agave y el tipo de proceso para dicha sección, ya fuera, sólido, líquido, o sólido-líquido. Se determinó la cantidad de operadores para cada etapa de acuerdo al tipo de proceso, y posteriormente se multiplicó por 2 debido a que para una entrada mayor de 100 toneladas por día, se requiere multiplicar el número de operadores por dos en cada etapa [5].

Tabla 32. Cantidad de operadores

Tipo de proceso	Tipo de operación continua	Etapas	Operadores por etapa
Sólido	3	Acondicionamiento	6
Sólido- fluido	3	Pretratamiento	6
Sólido- fluido	3	Sacarificación y fermentación	6
Sólido- fluido	2	Separación	4
Sólido- fluido	2	Tratamiento aguas	4
Sólido- fluido	2	Cogeneración	4
		Total de operadores	30

Para calcular los ingresos totales, se calcularon los ingresos de CO_2 presentados previamente en la Tabla 7 obteniendo una cantidad de 8,201,516.16 USD con un precio de venta de 0.17 USD/kg obtenido por Praxair. Dicho precio se mantuvo constante, dejando como única variable el precio mínimo de venta del etanol. Para los ingresos totales se implementó la ecuación 1.

$$Ingresos_{Totales} = \left[\frac{\text{cantidad de etanol producido } \left(\frac{\text{kg}}{\text{hr}} \right) \cdot 7920 \left(\frac{\text{hr}}{\text{año}} \right)}{0.79 \text{ (densidad de etanol)}} \cdot \text{Precio de venta de etanol \$ (solver)} \right] + Ingresos_{CO_2}(\$)$$

Ecuación 1. Cálculo de ingresos totales

Sustituyendo en la ecuación dejando como única incógnita el precio de venta del etanol:

$$Ingresos_{Totales} = \left[\frac{6255.15 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} \cdot 7920 \frac{\text{hr}}{\text{año}}}{0.79 \frac{\text{kg}}{\text{L}}} \cdot \text{Precio de venta de etanol \$ (solver)} \right] + \$ 8,201,516.16$$

Posteriormente se corrió el *solver* para obtener el precio mínimo de venta del etanol con un Valor Presente Neto (VPN) de cero, y simultáneamente obtener el Costo Total de Producción (CTP). A partir de los parámetros obtenidos por el programa de EXCEL. En la Tabla 33 se presenta en precio mínimo de venta para cada modelo, así como el costo total de producción cuando el VPN es igual a cero.

Tabla 33. Precio mínimo de venta del etanol de ambos modelos

	Sin vinazas	Con vinazas
Costo total de equipos (USD)	\$14,741,000	\$18,591,000
TCI (Inversión de Capital Total) \$	\$46,177,001.44	\$58,237,340.33
Materia prima/insumos (USD)	\$11,397,716.16	\$11,405,180.44
Servicios (USD/año)	\$566,726.07	\$598,161.52
Electricidad (USD/año)	\$2,506,188.96	\$2,302,201.44
Ingresos (USD/año)	\$25,740,311.98	\$28,069,204.94
Precio mínimo de venta del etanol (USD/L)	0.28	0.32
Precio mínimo de venta del etanol (USD/kg)	0.35	0.40
CTP (Costo Total de Producción)	\$21,055,382.00	\$22,160,682.23

5.2 Porcentaje de asignación para cada producto

A partir del Costo Total de Producción (CTP) del modelo, se calculó el porcentaje de asignación del CTP del etanol y del TPC de CO_2 , tomando como criterio el porcentaje de contribución de cada producto a los ingresos de la biorrefinería.

$$CTP_T = CTP_{CO_2} + CTP_{Etanol} = (CTP_T \cdot \%asignación_{CO_2}) + (CTP_T \cdot \%asignación_{CO_2})$$

Ecuación 2. Cálculo de CTP total

Se calculó el porcentaje de asignación para cada producto multiplicando la producción de cada producto por las horas de operación anuales y por el precio de venta, obteniendo el costo de ventas anuales de cada producto y el costo de ventas totales.

Tabla 34. Porcentaje de asignación de cada producto del modelo con vinazas

Porcentaje de asignación						
Clasificación	Nombre	Producción (kg/h)	Hrs de operación anuales (h y)	Precio de venta (USD/kg)	Ventas (\$/año)	% Asignación
Producto	Etanol	6255.15	7920.00	0.40	1.987×10^7	70.78%
Coproducto	CO2	6091.44	7920.00	0.17	8.202×10^6	29.22%
Ventas totales anuales (USD/año)					2.807×10^7	100%

Tabla 35. Porcentaje de asignación de cada producto del modelo sin vinazas

Porcentaje de asignación						
Clasificación	Nombre	Producción (kg/h)	Hrs de operación anuales (h y)	Precio de venta (USD/kg)	Ventas (\$/año)	% Asignación
Producto	Etanol	6255.15	7920.00	0.35	1.754×10^7	68.14%
Coproducto	CO ₂	6091.44	7920.00	0.17	8.202×10^6	31.86%
Ventas totales anuales (USD/año)					2.574×10^7	100%

Una vez obtenido el porcentaje de asignación de cada producto, se calculó el costo total de producción para cada producto, multiplicando el TPC obtenido en EXCEL por cada porcentaje.

Tabla 15. CTP total y de cada producto

Modelo con vinazas			Modelo sin vinazas		
Producto	% asignación	CTP (USD)	Producto	% asignación	CTP (USD)
Etanol	70.78	15,685,572.09	Etanol	68.14	14,346,603.34
CO ₂	29.22	6,475,110.14	CO ₂	31.86	6,708,778.66
CTP _T (\$)	22,160,682.23		CTP _T (\$)	21,055,382.00	

6 Resultados a discutir

A partir de todas las modificaciones realizadas, se obtuvo una cantidad de etanol de $150.124 \frac{MT}{día}$, la cual aumentó en relación con el modelo PETA que tenía una cantidad de $123.993 \frac{MT}{día}$. Realizando una comparación entre ambas simulaciones en la sección del tratamiento de agua, se observó que al quitar las vinazas disminuiría la cantidad de agua requerida y las dimensiones de los reactores aerobio y anaerobio, por lo que disminuyó el precio mínimo de venta del etanol.

En relación con el modelo PETA, en ambas simulaciones realizadas, se generó una mayor cantidad de etanol, así como se modificaron las dimensiones de los reactores a escala industrial, y se mejoró el proceso de tratamiento de agua obteniendo agua tratada con los parámetros requeridos por la norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021 [3]. Al eliminar la etapa de *overliming* y realizando la entrada de $Ca(OH)_2(0.5M)$ obteniendo el aumento de pH de 5 requerido, proporcionó la disminución del costo de equipos, así como generó una menor cantidad de pérdidas.

Se determinó un precio mínimo de venta del etanol de 0.28\$/L para el modelo con vinazas con un costo total de producción de \$22,160,682.23, así como un precio de 0.32\$/L para el modelo sin vinazas con un costo total de producción de \$21,055,382.00. A partir de dichos precios mínimos de venta con un VPN de cero, se podría determinar el precio requerido de venta para cada modelo para generar ganancias de acuerdo con las necesidades requeridas.

7 Referencias

1. Sanchez, A., Gil, J. C., Rojas-Rejón, O. A., de Alba, A. P., Medina, A., Flores, R., & Puente, R. (2015). Sequential pretreatment strategies under mild conditions for efficient enzymatic hydrolysis of wheat straw. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 38(6), 1127–1141. <https://doi.org/10.1007/S00449-015-1355-1>
2. Pérez-Pimienta, J. A., Papa, G., Gladden, J. M., Simmons, B. A., & Sanchez, A. (2020). The effect of continuous tubular reactor technologies on the pretreatment of lignocellulosic biomass at pilot-scale for bioethanol production. *RSC advances*, 10(31), 18147–18159. <https://doi.org/10.1039/d0ra04031b>
3. Secretaría de Gobierno (2022, March 11). *NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación*. Diario Oficial de la Federación. Retrieved March 3, 2023, from https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0
4. Yang, F. & Meerman, J.C. & Faaij, A.P.C., 2021. "Carbon capture and biomass in industry: A techno-economic analysis and comparison of negative emission options," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, vol. 144(C).
5. Seider WD Lewin DR Seader JD Widagdo S Gani R Ng KM. *Product and Process Design Principles : Synthesis Analysis and Evaluation*. Fourth ed. New York: John Wiley & Sons; 2017.

3. Reflexión crítica y ética de la experiencia

El RPAP tiene también como propósito documentar la reflexión sobre los aprendizajes en sus múltiples dimensiones, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto para compartir una comprensión crítica y amplia de las problemáticas en las que se intervino.

3.1 Sensibilización ante las realidades

De acuerdo con la elaboración del modelo, así como la lecturas sobre los diversos procesos para la producción de bioetanol y de biocombustibles, fui teniendo una mayor noción sobre la importancia de la bioenergía y el uso de fuentes de energía renovables. Comprendí el impacto que se genera a partir de un proceso industrial, especialmente el impacto al medio ambiente, las emisiones de carbono y de gases de efecto invernadero.

Por otro lado, también comprendí la importancia de llevar a cabo un tratamiento correcto del agua, ya que esta termina siendo desechada a ríos, lagos, lagunas, entre otras en la mayoría de los casos. Esto me ayudó a comprender el daño que podría causar el mal tratamiento de agua a comunidades enteras, que dependen del uso de esta agua para sus actividades diarias y como fuente de alimento.

A partir del análisis comprendí lo importante que es tener noción sobre los costos que genera un proyecto o proceso, y cómo hacer lo posible por hacerlo económicamente rentable y este verdaderamente pueda beneficiar a la sociedad. Es de suma importancia determinar un precio de venta para otras empresas y personas que realmente pueda ser accesible para ellos, ya que el punto de esto es ayudar a nuestra sociedad y las repercusiones hacia el medio ambiente.

Me motiva saber que por medio de mi carrera puedo ayudar en la creación e implementación de diversos procesos los cuales no dañen en gran escala al medio ambiente, así como que realmente se puede hacer un cambio y es una manera de sensibilizar a las personas, específicamente a la industria sobre la importancia y el impacto que tiene cada uno de sus procesos.

3.2 Aprendizajes logrados

Durante el inicio del PAP iba a trabajar con un proyecto en SPD con lo que ya me sentía cómoda, ya que en el PAP de primavera 2023 trabajé mucho con dicha herramienta y me resultaba mucho más fácil. Al tener que cambiar de proyecto y enfocarme en el análisis económico tuve que aprender a aprender nueva temas, y especialmente salir de mi zona de confort, ya que el análisis económico siempre fue un tema que evitaba.

El mayor reto para mí fue tener que trabajar con la parte económica de un proyecto, comprender cada término y cálculo con el que estuve trabajando, tales como el Valor Presente Neto, el Costo Total de Producción (CTP), los ingresos totales, el costo de servicios y electricidad, la inversión de capital, entre otros términos.

Al trabajar con la parte económica me hizo percatarme de lo importante que es comprender todo lo que conlleva este, especialmente saber “leer” estos valores e interpretarlos, ya que, una de las cosas más importantes de un proyecto es saber que este realmente se puede llevar a cabo, en cuánto tiempo, y todo lo que requiere.

Durante distintas etapas del semestre, tuve que aprender a investigar a distintas fuentes para conocer más sobre ciertas normas y condiciones de operación requeridas a lo largo del proceso. De igual manera, fui desarrollando una mayor comprensión sobre el simulador SPD y todas las herramientas con las que este cuenta, incluyendo el análisis técnico económico que se puede obtener y la interpretación de estos datos.

Considero que como ingenieros no nos debemos que centrar solamente en el proceso, sino también comprender todo lo que conlleva dicho proceso y también saber interpretarlo en términos económicos, así como comprender todo lo que afecta o beneficia el aspecto económico de un proyecto, tal como los costos de la materia prima y los parámetros económicos a considerar.

En el ámbito profesional, aprendí lo importante que es tomar en cuenta todo lo necesario, las condiciones de operación y las normas a seguir dentro de un proceso, así como pude

comprender un poco más sobre la ingeniería de procesos. Me resultó fascinante comprender todo lo que implica poder llevar a cabo un proceso, así como lo importante que es siempre considerar el impacto que este puede causar tanto al medio ambiente, como a la comunidades, y la importancia de promover este tipo de investigaciones que buscan distintas alternativas con el fin de mejorar la sociedad y nuestro entorno.

3.3 Inventario de competencias Inicial (ingreso del PAP) e Inventario de competencias Final (salida al PAP).

Tabla 16. Inventario de Competencias

	Competencia		Evidencia	Relevancia/Fortaleza*	Competencias Nuevas	Competencias Potencializadas
	Conocimientos	Sé utilizar el simulador de Super Pro Designer	Lo implementé en mi proyecto pasado actualizando un modelo	Tengo mayor conocimiento de la herramienta, por lo que puedo implementarla e más tiempo a su aplicación en vez de a su comprensión.	Aprendí a llevar a cabo un análisis económico para un proyecto, así como todos los requerimientos necesarios para el correcto funcionamiento de este.	Mejoró mi nivel de comprensión de artículos, así como la interpretación de análisis de datos en SPD y de un proceso en general.
		Conozco más sobre el proceso de simulación de procesos	Trabajé con un proceso, y comprendí todas las etapas de este	Tengo una mayor comprensión sobre ingeniería de procesos, lo cual me		

				puede ayudar en futuros proyectos.		
		Tengo un mayor conocimiento sobre la manera de trabajar en un centro de investigación	Realicé mi PAP anterior en un centro de investigación y tuve que acoplarme a una nueva forma de trabajo	Tengo mayor experiencia sobre la manera de trabajar y la relación con las personas a mi alrededor.		
		Tengo buena organización cuando un tema/proyecto o me interesa realmente	Me motiva a investigar por mi propia cuenta nuevas alternativas	Ayuda a tener una mejor integración y más genuina en el proyecto		
		Sé que tengo un compromiso al momento de trabajar con alguien	Me gusta cumplir con lo que tengo que hacer y no decepcionar	Respeto el tiempo de los demás, así como el mío y comprendo lo valioso que es.		
	Habilidades	Considero las diversas opciones y no me quedo con la duda	Siempre pregunto mis dudas, por más mínimas que sean.	Querer comprender más y no tener miedo a que sea una	Aprendí a redactar un informe sobre análisis técnico económico y la	Siempre llevar una bitácora con los cambios, actividades y cosas pendientes.

		cuando tengo preguntas		pregunta “ridícula” o sin sentido.	interpretación de este.	Mejoré mi nivel de organización y planeación de actividades.
		Soy buena planeando lo que se va a hacer, así como organizarme de manera más eficiente	Siempre tengo una idea de los pasos que se tienen que llevar a cabo.	La planeación ayuda a tener un camino para el proyecto y la manera en la que se va a llevar a cabo.		
		Sé distribuir la carga de trabajo equitativamente y ponerles límite de tiempo para no dejarlo todo al último.	Determino los días que le puedo dedicar el tiempo y el tiempo aproximado a este.	Ayuda a no saturarse en un futuro.		
		Sé llevar un orden de las actividades a realizar, así como tender un esquema predeterminado.	No me gusta saltarme pasos al menos que sea necesario.	Tener un esquema es ya tener una planeación de cómo te gustaría que se desarrolle el proyecto.		
		Sé que cuento con diversos	Me gusta solucionar	Me ayuda a comprender		

		recursos para obtener información, así como hago uso de estos para tener mayor conocimiento	mis dudas antes de seguir con otro tema u otra sección.	verdaderamente lo que estoy leyendo o haciendo.		
	Actitudes	Me gusta tener un ambiente apropiado para todo dentro de un equipo en el cual todos estemos a gusto y conforme con nuestra parte	Cuando no hay un ambiente de confianza y respeto, es muy complicado trabajar con otros.	Es de suma importancia que todos se sientan cómodos y parte del trabajo.	Aprendí a ser paciente y dar todo de uno mismo ante un proyecto, así como aprendí a no tenerle miedo a cosas nuevas, y saber pedir ayuda.	Desarrollé mi paciencia y tolerancias, así como siempre estar abierta a nuevos cambios y maneras de mejorar algo.
		Soy paciente al momento de trabajar en equipo y me gusta que sientan la seguridad de preguntarme si no entienden algo.	A veces es difícil comprender ciertos conceptos y se requiere que nos expliquen más de una vez o de	Alienta a las personas a no tener miedo a preguntar que sus dudas sean minorizadas.		

			distinta manera.			
		Estoy dispuesta a reconocer mis errores	No me cierro solamente a mis ideas o propuestas.	Todos podemos cometer errores y lo importante es aprender de ellos.		
		Siempre me gusta escuchar la opinión de los demás	Es de suma importancia tomar en cuenta distintos puntos de vista y juntos definir el más apropiado.	No siempre dominamos el tema y siempre va a haber alguien que sepa más que nosotros y nos pueda orientar o ayudar.		
		Me gusta trabajar en proyectos en los que pueda causar un impacto positivo en la sociedad o en las personas a mi alrededor.	Soy consciente de que puedo ayudar desde mi carrera y mejorar el medio en el que vivimos	Me motiva a seguir buscando distintas alternativas para ayudar y seleccionar la que sea mejor para las personas y el medio en el que vivimos.		

A partir del inventarios de competencia realizado, comprendí que logré llevar a cabo uno de mis mayores miedos en términos de mi carrera, el cual era trabajar con cualquier tema relacionado a términos económicos, especialmente la interpretación de estos. Por otro lado, logré desarrollar nueva habilidades, así como aprendí a ser más responsable e independiente, especialmente aprendí a confiar en mí misma y en mis ideas o propuestas. Aprendí a ser más organizada con mis trabajos y a siempre tener una bitácora en la cual vaya teniendo recuento de todas las cosas que voy realizando, así como siempre sustentar los cambios con información verídica.