

ARTICULO ORIGINAL

**D-Xilosa y Glucosa a partir de residuos de la Industria Azucarera**

**D-Xylose and Glucose from the Sugar Industry waste**

**\*Rabassa Olazábal, G.<sup>1</sup>; González Suárez, E.<sup>2</sup>; Pérez Sánchez, A<sup>3</sup>;  
Miño Valdés, J.E.<sup>4</sup>; Pérez Martínez, A<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> MSc. Ing. Qco. Dpto. Ing. Industrial, Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, Universidad de Camagüey, Circunvalación Norte Km 3½ Camagüey, Cuba

<sup>2</sup> Dr. Sc. Ing. Qco. Dpto. Ing. Química, Facultad de Química y Farmacia, Univ. Central de las Villas, Cuba

<sup>3</sup> Dr. Ing. Qco. Dpto. de Ingeniería Química, Universidad de Camagüey, Cuba

<sup>4</sup> Dr.MSc.Ing.Qco.Dpto.de Física, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones, Argentina

<sup>5</sup> Dr. Ing. Qco. Dpto. Ciencias de la Tierra, Universidad Estatal Amazónica, Ecuador

**RESUMEN**

El objetivo de este trabajo fue desarrollar un procedimiento para determinar si la producción de D-Xilosa y Glucosa a partir de bagazo de caña, es una oportunidad de negocio en la industria azucarera cubana. Se diseñó un Diagrama Heurístico para la evaluación del objetivo propuesto, donde se incluyeron herramientas de gestión de desarrollo, análisis complejo de procesos, balances de masa y energía, criterios: técnicos, ambientales, económicos, sociales y factores de riesgo. Se utilizaron los software: SuperPro Designer® 9.0, Statgraphics Centurión XVI y KeyWordSpy. Se concluyó que el procedimiento metodológico aplicado fue apto para evaluar la propuesta de negocio; donde la producción de D-Xilosa y Glucosa a partir de residuos presentó indicadores técnico económicos viables para la industria azucarera.

**Palabras clave:** D-xilosa, glucosa, economía, industria azucarera, residuos.

**ABSTRACT**

The objective of this study was to develop a procedure to determine if the production of D-xylose and glucose from bagasse, is an opportunity for business in the Cuban sugar industry. We designed a Heuristic Diagram for the evaluation of the proposed objective, where we included management tools development, complex analysis of processes, mass and energy balances, criteria: technical, environmental, economic, social and risk factors. Used software: SuperPro Designer® 9.0, Statgraphics Centurion XVI and KeyWordSpy. It was concluded that applied methodological procedure was suitable for assessing the business proposal; where the production of d-Xylose and glucose using waste presented viable economic and technical indicators for the sugar industry.

---

**\*Autor Correspondiente:** MSc. Ing. Qco. Rabassa Olazábal, G. Dpto. Ing. Industrial, Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, Universidad de Camagüey, Circunvalación Norte Km 3½ Camagüey, Cuba.

Email: [glenia.rabassa@reduc.edu.cu](mailto:glenia.rabassa@reduc.edu.cu)

Fecha de recepción: setiembre 2015; Fecha de aceptación: noviembre 2015

**Keywords:** D-xylose, glucose, economy, sugar industry, waste.

## **INTRODUCCIÓN**

La elaboración de decisiones es una actividad que está vinculada con el centro de la actividad de gerencia empresarial y una organización necesita elaborar muchas decisiones, para que pueda funcionar, adaptarse, progresar, sacar ventajas de oportunidades y sobrepasar las crisis. Siendo diverso el rango de problemas que enfrenta una organización, pues “muchas decisiones se repiten varias veces durante un día de trabajo, mientras que otras ocurren con poca frecuencia y pueden tener lugar después de muchos años” (Heredia, 1995), tal es el caso de los procesos inversionistas los que siempre requieren de la absorción y transferencia de tecnología, y por lo tanto de la máxima atención de la empresa. (Oquendo, 2002)

El desarrollo competitivo de las empresas de la industria química y biológica tendrá que realizarse con un nivel de riesgo y anticipación que podrán disminuirse en la medida en que se despeje la incertidumbre en cualquiera de sus manifestaciones. Por ello es necesario formular alternativas diversas para proceder a una evaluación multicriterio que permita organizar su ejecución de la manera más adecuada. Es necesario, desde el punto de vista empresarial, formular y evaluar las alternativas como oportunidades de negocios para las empresas. González (1991)

Cuando se desarrollan las herramientas modernas de Gestión de Desarrollo (GD) de análisis de proyectos para evaluar oportunidades de negocio, esta debe, además de tener y mostrar generalidad de ámbitos de aplicación, demostrar su utilidad al ser aplicada a un producto o en un escenario particular (Cunningham, 1997).

Se desarrolla, propone y describe la metodología objeto de la investigación, en términos de diagramas conceptuales, etapas secuenciales y métodos matemáticos. Se hace énfasis en los pasos y ventajas que significan un claro aporte al estado del arte. Además, el proceso de desarrollo de las herramientas para tomar decisiones, puede ir en simultáneo aplicado a un ejemplo, de manera que se da una sinergia positiva entre la meta del instrumento metodológico y el de la decisión misma. Se examina primero el Análisis Complejo de Procesos (ACP), que como metodología de toma de decisiones integra el diseño de procesos con la Evaluación de Proyectos de Inversión según González (2014).

Es por esto que el problema científico que se planteó fue: cómo evaluar las diferentes oportunidades de negocio con apoyo de las instalaciones existentes de la industria de la caña de azúcar.

La hipótesis de este trabajo fue la siguiente expresión: mediante un procedimiento metodológico científicamente argumentado que posibilite la selección y evaluación de oportunidades de negocios es posible iniciar el aprovechamiento y reconversión de instalaciones existentes posibilitando el desarrollo de la agroindustria azucarera.

El objetivo general fue:

Proponer y validar un procedimiento para la evaluación de oportunidades de negocios mediante herramientas de GD que permitan determinar las mejores opciones para cualquier inversión de negocio contribuyendo a la reanimación de instalaciones industriales existentes y la

oferta de nuevos productos que posibiliten el desarrollo de la agroindustria azucarera de Cuba.

Los objetivos específicos fueron:

1. Establecer del análisis de la literatura científica y tecnológica las bases metodológicas para el análisis sistemático y en diferentes momentos de las oportunidades de negocios con productos de alto valor agregado a partir de la transformación de la biomasa.
2. Proponer un procedimiento para la evaluación de alternativas de oportunidades de negocios en la agroindustria azucarera.
3. Evaluar las alternativas de negocios de la agroindustria azucarera propuesto por expertos de la agroindustria, los centros de generación de conocimientos y el sector ejecutivo.

## **DESARROLLO**

Según González (2002) el desarrollo de procedimientos y la valoración de experiencias exitosas de aplicación de los métodos científicos para una adecuada estrategia en el desarrollo y asimilación de tecnologías, ha evolucionado desde el análisis técnico económico de las mejores alternativas, incluidos los análisis dinámicos, hasta el concepto de lograr tecnologías más limpias, pasando por las de seguridad ambiental y tecnológica, lo que reclama un mayor esfuerzo en la consideración de los problemas de incertidumbre de los procesos transformativos de la industria química y fermentativa lo que ha sido abordado en trabajos anteriores.

En la literatura científica internacional y nacional están disponibles los procedimientos propuestos por la experiencia Venezolana (PDVSA, 1999), el software CONFAR ONU 2001 y los métodos clásicos de diseño de equipos y análisis de inversiones en la industria química (Perry, 2008), y la optimización de las plantas químicas (Peters & Timmerhaus, 1991), más recientemente presentada por González (2005) para la evaluación de inversiones destinadas a obtener etanol.

Cunningham (1997) ha sostenido que para realizar una correcta GD se puede aplicar un conjunto de 8 herramientas que pueden resultar complementarias entre sí según el caso.

Se propone el Diagrama Heurístico de la Figura 1 como procedimiento metodológico para la propuesta y evaluación de oportunidades de negocios en la agroindustria azucarera. Este procedimiento se inicia con la propuesta de los empresarios; a partir de allí se aplican las sgtes. herramientas que a continuación se explicitan:

**Herramienta 1 Análisis de contexto:** se desarrollan cuatro modelos a saber:

- a) modelo sectorial: lo que la empresa debe hacer es implementar un adecuado sistema de inteligencia competitiva
- b) modelo cuantitativo: lo que la empresa debe hacer es desarrollar un banco de datos sobre recursos, probables tendencias e interrelación entre las variables
- c) modelo sistémico: lo que la empresa debe hacer es identificar a los participantes, seleccionar variables y elaborar escenarios basados en estos elementos

- d) modelo estructural: lo que la empresa debe hacer es prestar atención al estado de evolución de la ola contemporánea a fin de liderarla.

**Herramienta 2 Análisis de tendencias empresariales:** tiene cinco aspectos que son: orientación al mercado, diferenciación, integración aguas abajo, internacionalización y concentración.

Luego se pregunta si existe una oportunidad de materia prima, producto, mercado y tecnología según estos cinco aspectos; si es no entonces se deben tomar acciones para resolver estos aspectos y se vuelve a hacer la pregunta y si es sí se pasa a la tercera herramienta.

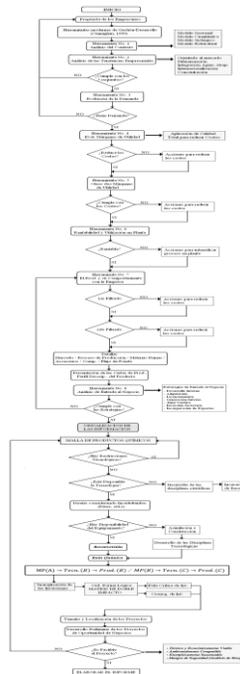
**Herramienta 3 Evolución de la demanda:** aquí se pregunta si hay demanda del producto si es no, entonces se va a la formulación de una nueva oportunidad de negocio, si es sí, se continúa a la cuarta herramienta

**Herramienta 4 Evolución de los márgenes de utilidad del producto:** aquí se aplica la curva de la experiencia y se implementa el principio de calidad total (para reducir los costos) y luego se pregunta si se reducen estos, de ser negativa la respuesta se deben tomar acciones que contribuyan a reducirlos y se vuelve a hacer la pregunta, de ser positiva se pasa a la quinta herramienta.

**Herramienta 5 Otros 2 márgenes de utilidad:** aquí se calculan el costo total sin amortización y el costo por encima del costo variable, se pregunta si cumple con los requisitos de los costos y si es no, se toman acciones para resolver este ítem, si es sí se pasa a la sexta herramienta.

**Herramienta 6 Rentabilidad y utilización en planta:** aquí se trata de determinar las correlaciones experimentales entre el retorno sobre inversión y el grado de utilización de la planta, se pregunta si es rentable, si la respuesta es no, deben tomarse acciones como aumentar la capacidad en planta y buscar más integración aguas abajo entre otras, se repite la pregunta y si es positiva entonces se pasa a la séptima herramienta.

**Herramienta 7 El producto y su compatibilidad con la empresa:** aquí se pregunta si pasa por el primer filtrado, donde aparecen el tamaño y crecimiento del mercado para el producto en cuestión, número de competidores más importantes, características generales de la tecnología involucrada, si no pasa por este filtrado entonces se toman acciones para resolver esto y se vuelve a preguntar, de ser positivo se pasa al segundo filtrado donde se realiza una estimación de rentabilidad, se trata sobre la accesibilidad a la tecnología así como la accesibilidad medio-ambiental, de no pasar por este filtrado se toman acciones para resolver esto y se vuelve a preguntar, de ser positivo se pasa a una etapa de seguimiento donde se realiza un análisis detallado del mercado y de la comercialización, de procesos de producción, accesibilidad a materias primas, disposiciones oficiales, efectos sobre la competencia, flujos de fondos, etc., se presentan luego las cartas del producto, así como el perfil descriptivo del producto, una vez concluido esta herramienta se pasa a la octava.



**Figura 1.** Procedimiento metodológico para a evaluar oportunidades de negocios en la agroindustria azucarera.  
Fuente: elaboración propia

**Herramienta 8 Análisis de entrada al negocio:** aparecen entonces siete estrategias fundamentales por preguntar: desarrollo interno, adquisición, licenciamiento, generación interna, joint-venture, inversión societaria e incorporación de expertos. Se pregunta ahora si cumple con estas estrategias, de no ser así entonces hay que buscar otra propuesta de negocio de los empresarios, de ser positiva existe una oportunidad de negocio la cual pasa a la fase de visualización de la información, la idea aquí es que se visualicen desde un principio todas las complejidades involucradas en el proceso, se entiendan los nexos y las interfaces existentes entre cada actividad y las decisiones que las soportan, una vez analizado esto, en el caso de constituir un producto pasa a formar parte de la malla de productos químicos que se va a proponer, si fuera un servicio entonces de igual manera se trabajara solo que con las peculiaridades de esa opción, se determina la ruta química y se pregunta si existen restricciones tecnológicas, de ser negativa se va a la malla de productos químicos y se toma otro, de ser afirmativa la respuesta se pregunta si está disponible la tecnología de ser negativa se va a la malla de productos químicos y se toma otro, si es positiva se va al diseño del proceso, si existiera disponibilidad del equipamiento se pudiera ir a una reconversión si no lo hubiera entonces sería necesario una asimilación de tecnología con

el correspondiente cálculo y diseño de nuevos equipos y pasar en ambos casos a seleccionar la tecnología propiamente dicha.

Luego se ordenan las inversiones de forma lógica, se prepara el cronograma según consideraciones del desarrollo local donde esta oportunidad de negocio, se determina la ruta crítica de la inversión, así como el tamaño y localización del proyecto, se estima la incertidumbre en la disponibilidad de la materia prima, continua la fase de desarrollo preliminar del proyecto y se pregunta si es factible el proyecto de ser negativo se vuelve a la malla de productos a buscar otra oportunidad de negocio. Esta factibilidad debe integrar de forma armónica los ya conocidos factores tradicionales técnico-económicos según Peters & Timmerhaus, (1991), los factores energéticos, ambientales sustentables y los riesgos tecnológicos, si es positivo se elabora el informe y se pasa al control de oportunidades de negocio según propuesta para desarrollo local del municipio donde está enclavada esta oportunidad.

### **Oportunidades de negocios con la producción de D-xilosa y glucosa a partir de bagazo.**

Se parte de la propuesta de los empresarios: obtención de D-Xilosa y glucosa a partir de bagazo de caña de azúcar.

Para el análisis y selección de oportunidades de negocios según la GD se aplican 8 herramientas modernas que a continuación se explicitan conceptualmente:

**La primera herramienta** es el *Análisis de contexto*, aquí se desarrollan cuatro modelos a saber:

a) modelo sectorial: se manifiesta como excelente oportunidad el hecho de que la materia prima para esta propuesta es el bagazo, fuente renovable, de bajo costo de adquisición y que no precisa de un proveedor externo en la logística de la empresa, a pesar de que pueda competir como concepción de materia prima para otras producciones de interés.

b) modelo cuantitativo: tomando en cuenta los recursos que intervienen para esta oportunidad de negocio, a saber en cuanto a materia prima (bagazo desmedulado, ácido sulfúrico, hidróxido de sodio, agua, petróleo, electricidad), la fortaleza de un oficio sostenido en los quehaceres azucareros en el país, la base económica fundamentalmente agrícola, las perspectivas de incrementar el desarrollo técnico con la implementación de nuevas carreras universitarias en períodos más cortos para el sector empresarial azucarero, pudieran permitir el exitoso desarrollo de nuevas producciones que aumentarían las exportaciones en el país y en consecuencia disminuirían las importaciones por tanto.

c) modelo sistémico: participan activamente los sectores estatales y cooperativas de producción agropecuaria cuyo encargo social sea la producción cañera fundamentalmente, todos los proveedores de las industrias químicas en el país, así como la Unión Nacional Eléctrica, empresas proyectistas del sector agroindustrial azucarero, universidades y centros de gestión del conocimiento; las principales variables a evaluar serían disponibilidad de la materia prima, capacitación del personal involucrado y todo sobre la concepción de un escenario optimista, al usar precisamente materia prima de procedencia nacional y contar con prestigiosos centros para la gestión del conocimiento.

d) modelo estructural: aprovechar las fortalezas que brinda el nuevo modelo económico cubano donde se brinda especial atención a la

producción de derivados de la industria azucarera y la autonomía de las empresas de poder gestionar su propio desarrollo diversificando en este caso sus producciones.

**La segunda herramienta es:** *el Análisis de tendencias empresariales;* esta tiene cinco aspectos fundamentales que son:

a) orientación al mercado: la D-Xilosa es algo que se puede vender y sumar a la malla de productos químicos del país.

b) diferenciación: se conoce la tecnología, las características del producto y su uso lo que ayuda considerablemente a que se convierta en una fortaleza dentro de las producciones.

c) integración aguas abajo: la principal tendencia que tiene el bagazo en Cuba hoy es la generación de energía eléctrica por cuenta las producciones derivadas en cuanto a este residual están muy deprimidas (tableros, furfural, entre otras) por tanto cualquier iniciativa por agregar nuevos valores y productos a partir de residuales es bienvenida, máxime cuando además de la producción propuesta se puede obtener glucosa que engrandece el valor agregado de la propuesta y sirve de materia prima para otras producciones deficitarias a su vez por la falta de esta, dígase sorbitol y demás prestaciones que trae consigo a las industrias farmacéuticas, biomédicas y cosméticas, la propia D-Xilosa que se transforma en Xilitol mediante su fermentación empleando la levadura *Cándida guilliermondii* por tan solo citar ejemplos.

d) internacionalización: asegurar las posibilidades que brinda la nueva ley de inversión extranjera en el país que puede abrir nuevos campos mercantiles.

e) concentración: buscar alianza con otras empresas del territorio que hagan más fuerte la propuesta, por ejemplo entre fábricas de azúcar no diversificadas.

Luego se pregunta si existe una oportunidad de materia prima, producto, mercado y tecnología según estos cinco aspectos.

**La tercera herramienta es:** *la Evolución de la demanda.* Su resultado es: Positivo.

**La cuarta herramienta es:** experiencia en producir y calidad del producto. No hay experiencia en producción de D-Xilosa pero la entidad si está en condiciones de aplicar los principios de calidad total por tener fuertes alianzas con organismos rectores en gestión y formación del conocimiento.

Hablar de la tecnología y las restricciones y oportunidades que brinda el integrar las producciones a una fábrica de azúcar. La tecnología usada para la obtención de D-Xilosa es la reportada en la literatura y es la propuesta que se simula en esta investigación, las restricciones para su implementación no están precisamente en las materias primas que por ser de uso renovable no escasean en el país y sí en el equipamiento tecnológico que no existe, por no contar el país con plantas para estas producciones, por tanto es de vital importancia que la implementación de esta sea en una fábrica anexa al ingenio para poder tomar de ahí algunas de las facilidades auxiliares que brinda una integración aguas abajo en este tipo de procesos, dígase entonces, agua, electricidad, energía (vapor), disminuir los costos de transportación por concepto de materia prima (bagazo) y en caso de parada de la planta por cualquier causa, no se deterioren las materias primas pues seguirían su uso habitual en el ingenio en cuestión.

Por otra parte esta integración aumentaría el valor agregado de las producciones en la fábrica anexa, aumentando su diferenciación y competitividad en el mercado, aumentando la rentabilidad de las operaciones económicas y avanzando hacia un programa de tecnologías más limpias en la producción. Por ejemplo el bagazo exhausto que sale del filtro se puede utilizar para la producción de alcohol, tableros aglomerados y papel entre otros; y el hidrolizado rico en D-Xilosa puede ser procesado luego, tanto de forma química como mediante la ruta fermentativa, para obtener un alcohol de gran importancia, el xilitol, mientras que la glucosa puede ser usada como materia prima en la producción de sorbitol.

**La quinta herramienta:** aquí se calculan dos márgenes de utilidad, el costo total sin amortización y el costo por encima del costo variable: Capital Fijo Directo (CTD + CTI) = U\$D 8 118 000.

**La sexta herramienta es:** el equipamiento, ver en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Características del equipamiento utilizado

Equipamiento	Cantidad	Capacidad	Materiales	Costo (U\$D)
Tanque 1	1	4000 L	Plástico PVC reforzado	15 000
Reactor	2	6000 L	Acero inoxidable 316	450 000
Tanque 2	2	9000 L	Acero inoxidable 304	25 000
Filtro rotatorio	1	65 m <sup>2</sup>	Acero al carbono	60 000
Columna aniónica	3	2,8 m <sup>3</sup>	Acero inoxidable 316	10 000
Tanque 3	1	7500 L	Acero inoxidable 316	15 000
Evaporador	1	80 m <sup>2</sup>	Acero inoxidable 316	30 000
Columnas purificadoras	2	0,6 m <sup>3</sup>	Acero inoxidable 304	20 000
Tanque 4	1	2500 L	Acero inoxidable 304	15 000
Tanque 5	1	4500 L	Acero inoxidable 304	20 000
Bombas centrífugas	4	45 m <sup>3</sup> /h	Acero inoxidable 316	2 000
Otros	-	-	-	507 000
<b>Total</b>	-	-	-	<b>1 690 000</b>

Fuente: selección propia según Perry (2008); Peters & Timmerhaus (1991) y Sinnott (2005)

La simulación se ha venido utilizando extensivamente en los últimos años de forma exitosa, para comprender los procesos químicos-bioquímicos, así como las implicaciones físicas y económicas de las modificaciones experimentales, (Peters & Timmerhaus, 1991).

Los criterios para simular el proceso con Super Pro Designer®, de la planta de D-Xilosa y Glucosa según datos *técnico-económicos* fueron:

- 2 600 ton D-Xilosa / año, con un 99,85 % de pureza.
- 2,5 ton D-Xilosa / lote, en un tiempo máximo de unas 13 horas/lote.
- 2 ton glucosa / lote, como subproducto principal, 2 260 ton glucosa /año.
- La D-xilosa y la glucosa se venderán a 2,47 U\$D/kg y 5,50 U\$D/kg, respectivamente.

La planta trabajará unas (7 800 horas/año), empleando (1 mes/año) para efectuar las operaciones de mantenimiento, limpieza y reparaciones de equipos, instalaciones auxiliares, etc.

También poseerá un laboratorio físico-químico para llevar a cabo el control de calidad de los productos obtenidos, así como también ciertas investigaciones de I+D. Dispondrá además de un taller de mantenimiento, instalaciones para almacenamiento de materias primas, insumos y productos (para una capacidad equivalente a 1 año de producción).

Se asume un período de construcción de la planta de 12 meses, con 3 meses para efectuar su puesta en marcha, mientras que el tiempo de vida del proyecto será de 20 años.

Se considera que la planta opera siempre a un 100% de capacidad, con una depreciación anual constante del tiempo de vida del equipamiento del 2%.

Toda la D-Xilosa y glucosa producida presenta la calidad requerida para ser comercializada como producto final, por lo que no se toman en cuenta los costos adicionales relacionados con el tratamiento de lotes defectuosos, rechazados por no cumplir con los requisitos de calidad establecidos.

Tampoco se tomaron en cuenta los costos asociados con el tratamiento de los residuos, tanto líquidos como sólidos, generados a lo largo del proceso de producción.

Se consideraron otros costos tales como los relacionados con las operaciones de publicidad y ventas, el control de calidad, el consumo de electricidad adicional, la puesta en marcha y validación del proceso productivo, y la generación de proyectos I+D, todos determinados como un % del Capital Fijo Directo (CFD).

Por último se asumió una tasa de interés promedio del 6% para determinar el Valor Actual Neto (VAN), y un 30% de impuestos por concepto de ingresos.

Debido a que en el país no se cuenta con una planta de producción de este tipo es necesario usar un simulador en este caso Super Pro Designer®, para obtener la mejor variante de producción y obtener una versión confiable de lo que sería el proceso de producción. Se usa además el procedimiento propuesto por Pérez (2012), para el diseño de plantas químicas y se obtienen entre otros parámetros los indicadores ambientales a tener en cuenta, ver las Tablas 2, 3 y 4.

**Tabla 2.** Índice de consumo

<b>Materiales</b>	<b>Índice de consumo</b>
Bagazo	7,80 Ton/Ton
Ácido sulfúrico (98%)	0,14 Ton/Ton
Hidróxido de sodio técnico	0,16 Ton/Ton
Cloruro de sodio	0,005 Ton/Ton
Agua cruda	165 m <sup>3</sup> /Ton
Petróleo	2,50 Ton/Ton
Electricidad	180 kW-h/Ton

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.** Indicadores dinámicos

Retorno de la Inversión	39,99 %
Período de Retorno de la Inversión (PRI)	2,49 años
Tasa Interna de Retorno (TIR)	16,33 %
Valor Actual Neto (VAN) con 6% interés	U\$D 7 722 000

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.** Tiempos y lotes en planta

Parámetros	Valores
Tiempo de operación de la planta	7 794,93 horas/año
Tiempo de duración de un lote	12,47 horas/lotes
Número de lotes por año	1 043 lotes/año
Mano de obra (horas de trabajo por año)	48 845 horas/año

Fuente: Elaboración propia

**La séptima herramienta es:** el producto y su compatibilidad con la empresa.

- Primer filtrado: la xilosa ( $C_5H_{10}O_5$ ) también llamada azúcar de madera es una pentosa que se obtiene a partir de frutas, bayas, vegetales y otros productos hemicelulósicos los cuales contienen xilano según Moritz (2015).

No se encuentra libre en la naturaleza, la misma es un producto intermedio, necesario para el metabolismo orgánico del reino animal y constituye uno de los ocho azúcares esenciales para la nutrición humana y animal.

Es muy utilizada en la industria alimenticia para la producción de variados alimentos con destino a pacientes portadores de trastornos metabólicos como la Diabetes Mellitus (DM), y en el campo biomédico en general. En la industria farmacéutica es muy utilizada en la producción de pastas dentales para prevenir las caries, entre otros usos según la búsqueda realizada con keyWordSpy software (2011).

La glucosa ( $C_6H_{12}O_6$ ), es el más común y abundante de los monosacáridos y constituye el más importante nutriente de las células del cuerpo humano debido a la energía que proporciona. Es una forma de azúcar que se encuentra libre en las frutas especialmente en las uvas, en la miel, en semillas (contando los cereales) y tubérculos. Su rendimiento energético es de (3,75 kilocalorías /gramo) en condiciones estándar, por lo que es muy utilizado en la industria alimentaria donde se conoce como dextrosa. Sirve como materia prima en la obtención de sorbitol, según Martínez y col, (2002).

Los productos aquí presentados también poseen amplia demanda en el mundo por su uso fundamentalmente biomédico, y en Cuba en especial la producción de glucosa es altamente sensible al poseer el país una planta de sorbitol, al 10 % de su capacidad instalada por la falta de glucosa.

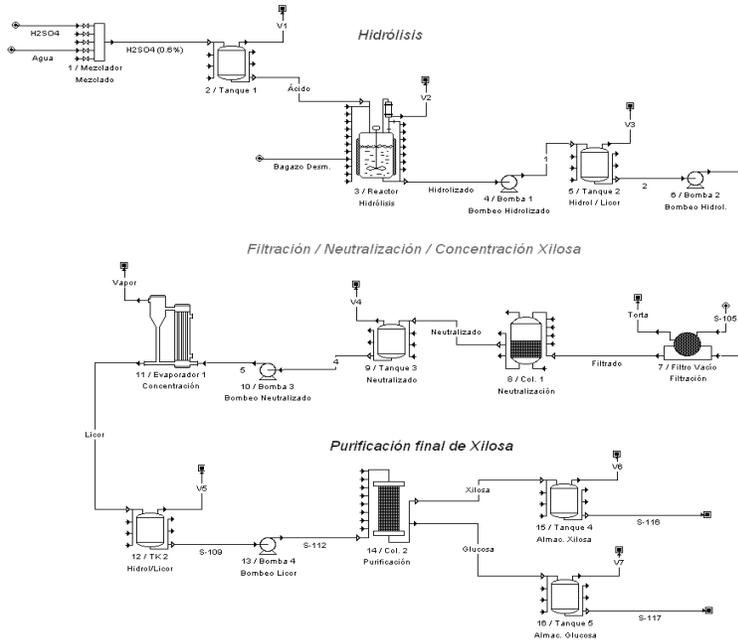
- Segundo filtrado:

*Pretratamiento del bagazo*

Comprende 3 operaciones: lavado, desmedulado y almacenamiento.

El lavado se efectúa debido a que los azúcares residuales aún presentes en el bagazo, fundamentalmente sacarosa, pueden crear problemas indeseables tales como el incremento del peso del material, y la obtención de un sustrato ideal para que ocurra el crecimiento de

microorganismos durante su almacenamiento, ocasionando la degradación de una gran cantidad de componentes de interés. Por otro lado, la sílice contenida en el bagazo presenta propiedades abrasivas, lo cual crea dificultades adicionales durante su procesamiento.



Fuente: Elaboración propia con el simulador Super Pro Designer® 9.0 (2013)

**Figura 2.** Diagrama de flujo de las operaciones de producción de Glucosa y D-Xilosa

El desmedulado se realiza ya que la granulometría presenta un papel importante durante las operaciones de impregnación y secado, así como también en la hidrodinámica del proceso global. También, el meollo contiene elevadas cantidades de cenizas, las cuales son transferidas al hidrolizado e interfieren grandemente en el proceso de purificación. El pretratamiento puede efectuarse en el propio ingenio, una vez desmedulado, el bagazo es almacenado en silos bajo las condiciones de almacenamiento requeridas. La etapa de pretratamiento no se toma en cuenta durante el proceso de simulación ya que el simulador empleado Super Pro Designer® 9.0 (2013) no presenta las operaciones unitarias requeridas para simular todas estas operaciones de forma adecuada.

**Hidrólisis**

El bagazo desmedulado almacenado es enviado luego hacia la sección de hidrólisis, específicamente al reactor hidrolizador, empleando bandas transportadoras y tolvas. En esta etapa al bagazo, una vez en el interior del reactor, se le agrega una solución acuosa de ácido sulfúrico al 0,6% de

concentración volumétrica, y a continuación se procede a calentar la mezcla obtenida (proceso de hidrólisis) empleando vapor saturado como agente calefactor, el cual circula por el interior de la chaqueta instalada en este equipo. La hidrólisis ocurre a 145 – 150 °C durante 30 minutos, aproximadamente. Al finalizar este proceso se obtiene un líquido amarillo-verdoso, conocido como hidrolizado, el cual contiene mayormente xilosa, glucosa y arabinosa, aunque también presenta otros componentes tales como furfural, ácido acético y ciertos compuestos fenólicos. El otro producto obtenido durante este proceso es la celolignina, el cual puede ser utilizado como combustible.

#### *Filtración*

El hidrolizado obtenido a la salida del reactor, el cual presenta un pH de 1,5–1,8, es bombeado hacia un tanque de almacenamiento intermedio, para entonces ser enviado hacia un filtro rotatorio al vacío, con el fin de eliminar las impurezas remanentes (torta) aún presentes en el líquido. En otros procesos (9) no se utiliza esta etapa.

#### *Neutralización*

Una vez filtrado, el hidrolizado obtenido es alimentado hacia una batería de 3 columnas que contienen una resina de intercambio iónico débilmente aniónica, con el fin de incrementar el pH del mismo hasta un valor entre 5,0 – 5,5.

#### *Concentración*

Este hidrolizado neutralizado es almacenado en otro tanque de almacenamiento, y luego es alimentado hacia la etapa de concentración, en donde se lleva a cabo su concentración empleando un evaporador tubular de múltiple efecto, el cual utiliza vapor de agua como agente de calentamiento. A la salida de este equipo se obtiene una corriente líquida (licor concentrado) que presenta una concentración entre 45–50 °Brix. El agua extraída durante la evaporación es almacenada en tanques para ser utilizada luego en la etapa de hidrólisis, mientras que el licor concentrado es almacenado en un tanque cilíndrico, para luego ser enviado hacia la etapa de purificación.

#### *Purificación y almacenamiento final*

En la etapa de purificación se emplean 2 columnas de intercambio iónico, una aniónica y otra catiónica, para separar y purificar la xilosa presente en el licor. A la salida de esta etapa se obtienen dos corrientes principales, una conteniendo xilosa (sirope de xilosa) con ciertas trazas de impurezas, y otra con una alta concentración de glucosa. Ambos productos son almacenados en sendos tanques de acero inoxidable, provistos de enfriamiento.

Se pasa a una etapa de seguimiento donde se realiza un análisis detallado del mercado y de la comercialización, del procesos de producción, evaluación cuidadosa de otros factores relevantes como accesibilidad a materias primas, disposiciones oficiales, efectos sobre la competencia, flujos de fondos, etc., se presentan luego las cartas del producto, así como el perfil descriptivo del producto.

**La octava herramienta es** el Análisis de entrada al negocio: aparecen entonces siete estrategias fundamentales por preguntar como son: desarrollo interno, adquisición, licenciamiento, generación interna, joint-venture, inversión societaria, incorporación de expertos, se pregunta ahora si cumple con estas estrategias: esta propuesta es ideal como desarrollo interno para la empresa. Es importante para la empresa y factible que

entre al negocio. Como es positiva entonces ya existe una oportunidad de negocio. La fase de visualización de la información: Se empleará bagazo desmedulado como materia prima principal del proceso de producción, ver en la Tabla 5 su composición según el Manual de los Derivados, (ICIDCA, 2002).

**Tabla 5.** Composición de la materia prima

Componente	%
Fibra	70
Humedad	55
Celulosa	46,1
Pentosanos	26
Lignina	21,5
Cenizas	5
Polisacáridos de fácil hidrólisis	28
Polisacáridos de difícil hidrólisis	53

Fuente: Elaboración propia

Se utilizarán además otras materias primas, como ácido sulfúrico, hidróxido de sodio, cloruro de sodio y agua, cuyos costos se presentan en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Costos de otras materias primas utilizadas en el proceso

Materia prima	Costo unitario
Bagazo	7,40 U\$/ton
Ácido sulfúrico (98%)	250 U\$/ton
Hidróxido de sodio técnico	435 U\$/ton
Cloruro de sodio	42 U\$/ton
Agua cruda	0,35 U\$/m <sup>3</sup>
Petróleo	850,20 U\$/ton
Electricidad	0,12 U\$/kW h

Fuente: Elaboración propia

Como producto final principal se obtendrá D-xilosa al 99,85 % de pureza, el cual también contendrá algunas trazas de agua (0,13 %) y glucosa (0,02 %). A continuación se muestran las principales características de la D-Xilosa, según Nápoles y col., (2005) y Perry (2008), Tabla 7.

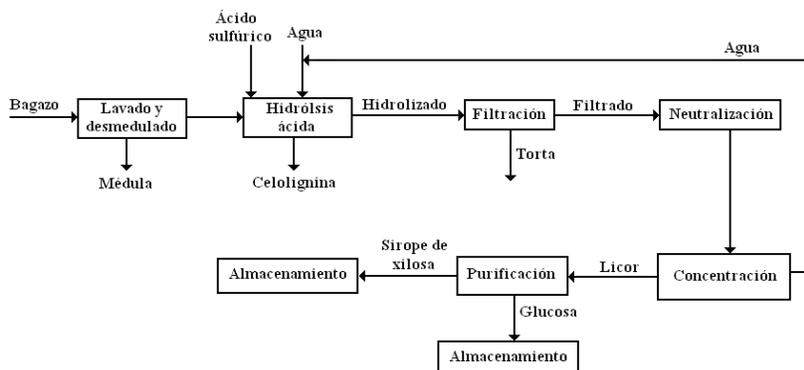
**Tabla 7.** Características de la D-Xilosa

Fórmula molecular	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>
Peso molecular (g/mol)	150,13
Gravedad específica	1,535
Punto de fusión (°C)	153 – 154

Fuente: Elaboración propia

Propuesta a la malla de productos químicos: se propone la producción de D-Xilosa y de glucosa.

Se determina la ruta química: el proceso de obtención de xilosa y glucosa a partir de la hidrólisis ácida del bagazo desmedulado, consta de las siguientes etapas según González (2014), Figura 3:



**Figura 3.** Diagrama del proceso de producción de Glucosa y D-xilosa a partir de la hidrólisis del bagazo de caña de azúcar. Fuente: ICIDCA, (2002).

Se ordenan las inversiones de forma lógica, teniendo el criterio de la incertidumbre en la demanda de la materia prima:

La Incertidumbre en la propuesta en cuanto a disponibilidad de la materia prima se refiere Badea (1987) y González (2002) ver Tabla 8:

**Tabla 8.** Incertidumbre en materia prima- indicadores dinámicos del proyecto

Año	Caña a moler (ton/año)	Xilosa Ganancia total (U\$D/año)	Ganancia total (U\$D/año)	Retorno de la inversión	Amortización (años)	VAN	TIR %
2018	3183	79884	183.787.000.00	34.45%	2.9	76,806,000	9.45
2021	5043	125029	287,654,000.00	38.73%	2.58	152,029,000	10.39
2024	7109	174786	402,128,000.00	41.52%	2.41	252,914,000	11.17
2028	12503	304686	700,990,000.00	44.33%	2.26	475,251,000	11.48

Se prepara el cronograma de inversiones según consideraciones del desarrollo local donde se pretende desarrollar esta oportunidad de negocio.

Se pregunta si es factible el proyecto, esta factibilidad debe integrar de forma armónica los ya conocidos factores técnico-económicos de Peters & Timmerhaus (1991), los factores energéticos, ambientales sustentables y los riesgos tecnológicos. Ver en la Tabla 9 un resumen los principales indicadores globales del proyecto. En las Tablas 10, 11 y 12 se desglosan los valores de las partidas involucradas en el Capital Fijo Directo, los Costos de Operación y otros parámetros respectivamente, relacionados con la factibilidad técnico-económica de la producción.

**Tabla 9.** Índices globales del proyecto

<b>Indicadores</b>	<b>en U\$D</b>
<i>Inversión</i>	
Inversión total	9 934 000
Inversión asignada a este proyecto	8 309 000
<i>Ganancias</i>	
Ganancia por venta de D-xilosa/ año	6 485 000
Ganancia por venta de glucosa / año	12 418 000
Ganancias totales / año	18 903 000
Ganancias totales en bruto / año	2 116 000
Ganancias totales netas / año	3 322 000
<i>Índices globales</i>	
Costo de operación / año	16 787 000
Impuestos (30 %)	635 000
Tasa de producción (ton/año)	2 620,74
Costo unitario de producción/ kg xilosa	6,4053
Margen de ganancias brutas (en %)	11,20
Retorno de la Inversión (en %)	39,99
Período de Retorno de la Inversión (en años)	2,49
Tasa Interna de Retorno (TIR) (en %)	16,33
Valor Actual Neto (VAN) (con 6% interés)	7 722 000

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 10.** Capital Fijo Directo

<b>Partida</b>	<b>en U\$D</b>
<b>Costos Totales Directos (CTD)</b>	
Costo de adquisición del equipamiento	1 661 000
Instalación	891 000
Tuberías	332 000
Instrumentación	332 000
Aislamiento	166 000
Instalaciones eléctricas	415 000
Edificios	498 000
Mejora de terreno	249 000
Instalaciones auxiliares	498 000
Total	5 042 000
<b>Costos Totales Indirectos (CTI)</b>	
Ingeniería	504 000
Construcción	1 513 000
Contingencias	1 059 000
Total	3 076 000
<b>Capital Fijo Directo (CTD + CTI)</b>	<b>8 118 000</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 11.** Costos de Operación

<b>Partida</b>	<b>U\$D / lote</b>	<b>U\$D / año</b>	<b>%</b>
Materias primas	12 321	12 851 000	76,5 5
Dependiente de la instalación	1 375	1 434 000	6,15
Mano de obra (Salario)	991	1 033 000	8,54
Laboratorio/Control de Calidad	248	258 000	1,54
Gastables	78	81 000	0,49
Utilidades y Servicios	115	120 000	0,72
Misceláneas	964	1 005 000	5,99
Otros	-	4 000	0,02
Costo Total de Operación (CTO)	16 091	16 786 000	100

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 12.** Otros Parámetros

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Tiempo de operación de la planta en (h/año)	7 794,93
Tiempo de duración en (h/lote)	12,47
Número de (lotes /año)	1 043,00
Mano de obra (h/año)	48 845,00

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con los resultados obtenidos, se necesitarán alrededor de 8,3 millones de U\$D para llevar a cabo la construcción, montaje y puesta en marcha de una planta que produzca 2 600 ton D-Xilosa/año, a partir de la hidrólisis ácida del bagazo de caña de azúcar. También el PRI obtenido para este proyecto fue de 2,49 años, la TIR de 16,33 % y el VAN 7 722 000 de U\$D, con unas ganancias netas anuales de 3 322 000 U\$D.

## CONCLUSIONES

El procedimiento metodológico aplicado fue apto para evaluar la propuesta de negocio en la industria azucarera con ayuda del simulador Super Pro Designer® 9.0.

La producción de D-Xilosa y Glucosa a partir de residuos lignocelulósicos, presentó indicadores técnicos, económicos y ambientales aceptables.

Esta propuesta empresarial califica como una oportunidad de negocio viable para la industria azucarera cubana.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Badea, L. & Cutcutache, A. (1987). Simultaneous Material and Heat Balances of a Process System Under Conditions of Uncertainty. Artículo presentado en la Conferencia CHISA'87. Praga. República Checa.
- Cunningham, R. E. (1997). Análisis y selección de oportunidades de negocio en la empresa moderna. Argentina: Editorial CYTED.
- González, E. (1991). Aplicación del análisis complejo de procesos a la intensificación de diferentes industrias de Cuba: Tesis en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba.
- González, E. (2002). Los problemas de incertidumbre en el desarrollo diversificado integrado de la industria de la caña de azúcar. *Revista Centro Azúcar*, V29(4), pp. 54-62.

- González, E. (2005). *Vías para el diseño de nuevas instalaciones de la industria química, fermentativa y farmacéutica*. La Habana, Cuba, Editorial Científico-Técnica.
- González, E. (2014). Diseño de una Planta para la Obtención del Concentrado de Xilosa y Glucosa a Partir del Bagazo de Caña. *Revista Centro Azúcar*, 41(2), pp. 12-21.
- Heredia, R. (1995). Dirección Integrada de Proyectos–DIP (Project Management) (2nd ed.). Universidad Politécnica de Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.  
<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/viewFile/1085/1169> (acceso 12/07/2013).
- KeywordSpy Software (2012). Disponible en: <http://www.keywordSpy.com.es> (acceso 20/10/12)
- ICIDCA (2002). *Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar*. Imprenta Minaz. La Habana, Cuba.
- Intelligen SuperPro Designer® [cd-rom] Versión 9.0 (2013). Programa Informático. New Jersey: Intelligen Inc. <http://www.aliexpress.com/item-img/Intelligen-SuperPro-Designer-v9-0-Build-2-English-version/914782004.html>. (acceso 20/10/2013)
- Martínez, E. A., Villareal, L. M., Silva, J. A. (2002). Uso de diferentes materias primas para la producción biotecnológica de *xilitol*. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 3(5), pp. 295-301.
- Moritz A. (2015). *XILITOL*. Secretos para tu salud.com. Disponible en: <http://www.secretosparatusalud.com/product/68024/xilitol> (acceso 02/03/15).
- Nápoles, A. I.; Díaz, M.; Acosta, E.; González, M.; Manganelly, E. (2005). Tecnología del Proceso de Obtención de Licores de Xilosa a partir de Bagazo de Caña, para la Producción Biotecnológica de Xilitol. *Brazilian Journal of Food Technology*, Marzo 2005, pp. 57-64.
- Oquendo, H. (2002). Alternativas de desarrollo prospectivo de los derivados de la caña de azúcar. Tesis en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad de Camagüey, Cuba.
- PDVSA (1999). Guía de Gerencia de Proyectos para Proyectos de Inversión de Capital. Venezuela.  
[http://www.soberania.org/Informes/infor\\_comis\\_pdvsa\\_99\\_01.htm](http://www.soberania.org/Informes/infor_comis_pdvsa_99_01.htm) (acceso 20/11/10)
- Pérez, A. (2012). Procedimiento metodológico para el diseño de procesos sostenibles de la agroindustria cubana. Tesis en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad de Camagüey, Cuba.
- Perry, R. H. (2008). *Perry's Chemical Engineer's Handbook*. New York, United States of America, McGraw Hill Book Company.
- Peters, M.S.; Timmerhaus, K. D. (1991). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. New York, United States of America, McGraw Hill Book Company
- Sinnot, R. K. (2005) *Coulson & Richardson's Chemical Engineering: Chemical Engineering Design*. Oxford, United Kingdom, Butterworth-Heinemann.