

**METODOLOGÍA PARA LA VALORACIÓN DE PROYECTOS DE  
INNOVACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE PROCESO, CASO DE ESTUDIO:  
VALORACIÓN DE PROCESO DE VINAZA REALIZADO POR LA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE**

**JOSE VICENTE MILLÁN  
YURIKO JULIANA SUGIMOTO**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y ESTADÍSTICA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
CALI, 2010**

**METODOLOGÍA PARA VALORACIÓN DE PROYECTOS DE INNOVACIÓN  
DE TECNOLOGÍAS DE PROCESO, CASO ESTUDIO: VALORACIÓN DE  
PROCESO DE VINAZA REALIZADO POR LA ESCUELA DE INGENIERÍA  
QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE**

**JOSE VICENTE MILLÁN  
YURIKO J. SUGIMOTO**

**Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Industrial**

**Director:  
Ing. Anabella Pabón Romero Msc.**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y ESTADÍSTICA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
CALI, 2010**

Nota de Aceptación:

-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----

-----  
Firma del Presidente del Jurado

-----  
Firma del Jurado

-----  
Firma del Jurado

Santiago de Cali, 1<sup>ro</sup> de Marzo de 2010

## **AGRADECIMIENTOS**

Antes que a todos queremos dar gracias a Dios por darnos las fuerzas necesarias para poder terminar este proyecto.

También queremos dar gracias a nuestros padres por su apoyo incondicional y su gran esfuerzo.

Agradecemos a nuestra directora de proyecto de grado Anabella Pabón y a todos los profesores que nos ayudaron en nuestra formación, a ser mejores personas y poder finalizar esta etapa de nuestras vidas.

Le damos las gracias al programa de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle y a todos nuestros compañeros por su acompañamiento todos estos años.

## CONTENIDO

	PAG.
INTRODUCCIÓN.....	12
1. LA INNOVACIÓN.....	15
1.1 El concepto de innovación y su relación con I+D (Investigación y Desarrollo).....	15
1.1.1. Algunas definiciones.....	15
1.1.2 Tipos de innovación.....	17
1.2 Investigación y desarrollo tecnológico (I+D). ....	18
1.2.1 El papel de las universidades en el desarrollo tecnológico.....	20
1.2.2 Sistema Nacional de Innovación en Colombia.....	22
2. LA PROTECCIÓN DE LA INNOVACIÓN: PATENTES.....	24
2.1 La necesidad de patentar .....	24
2.1.1 Los principales instrumentos .....	24
2.2 La protección de las invenciones.....	25
2.2.1 Las patentes de invención y los modelos de utilidad en Colombia .....	25
2.2.1.1 Ventajas de patentar.....	26
2.2.2 Las vías para patentar .....	27
2.2.2.1 La vía nacional.....	28
2.2.2.2 La vía internacional.....	29
3. LA TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA DESDE EL CONTEXTO DE LA RELACIÓN UNIVERSIDAD EMPRESA .....	32
3.1. Mecanismos institucionales de gestión de la transferencia de tecnología .....	33
3.1.1 Las Spin-Off.....	37
3.2 Relación Universidad-Sector productivo-Gobierno .....	40
3.2 1 Modelos de transferencia tecnológica .....	43

3.3.1 Oficina de transferencia de resultados de investigación de la Universidad del Valle .....	47
4. MÉTODOS PARA LA VALORACIÓN ECONÓMICA DE TECNOLOGÍAS .....	50
4.1 Introducción .....	50
4.2 Valoración de la tecnología .....	52
4.2.1 Métodos tradicionales para la valoración económica .....	53
4.2.1.1 Valor Presente Neto de los Flujos de Caja Descontado .....	53
4.2.1.2 Análisis de Sensibilidad .....	54
4.2.1.3 Análisis de Escenarios.....	54
4.2.2 Métodos no tradicionales para la valoración económica .....	55
4.2.2.1 Simulación Monte Carlo.....	55
4.2.2.2 Opciones Reales .....	58
5. CASO DE ESTUDIO .....	67
5.1 Antecedentes.....	67
5.2 Descripción del caso de estudio .....	68
5.3 Primera fase del caso estudio .....	69
5.3.1 Descripción del proceso de producción de Bioetanol en Colombia a partir de caña de azúcar .....	69
5.3.2 La Vinaza.....	73
5.3.3 Usos de la Vinaza.....	75
5.3.4 Tratamientos actuales de la Vinaza.....	75
5.4 Segunda Fase del caso estudio.....	76
5.4.1 Definición del problema .....	76
5.4.2 Tratamiento electroquímico de vinazas .....	78
5.4.3 Proceso propuesto: electro – coagulación/flotación/oxidación .....	79
5.5 Valoración económica del caso estudio.....	79
5.5.1 Variables del caso estudio .....	80
5.5.1.1 Escenario: Cambio de tecnología en el ingenio.....	80
5.5.2 Estructura de Ingresos.....	90
5.5.3 Estructura de Costos .....	91
5.5.4 Estado de Resultados.....	91

5.5.5 Balance General .....	91
5.5.6 Flujo de Caja.....	92
5.5.7 Variables de entrada.....	92
5.5.8 Variables de salida .....	95
5.6 Valoración con Opciones Reales.....	98
5.7 Consideraciones finales del caso estudio .....	101
6. CONCLUSIONES .....	103
BIBLIOGRAFÍA.....	106
ANEXOS.....	111

## LISTA DE TABLAS Y CUADROS

	<b>PAG.</b>
<b>Tabla 1.</b> Mecanismos para la transferencia de tecnología	32
<b>Tabla 2.</b> Frecuencia de utilización por parte de las empresas analizadas de los diversos métodos de valoración de proyectos de inversión	46
<b>Tabla 3.</b> Efectos en el precio de las opciones	55
<b>Tabla 4.</b> Producciones de alcohol carburante y vinazas en Colombia	68
<b>Tabla 5.</b> Características de las vinazas obtenidas en Colombia	69
<b>Tabla 6.</b> Niveles ideales de los parámetros de la vinaza recirculada	72
<b>Cuadro 1.</b> Parámetros	75
<b>Cuadro 2.</b> Estructura de ingresos	84
<b>Cuadro 3.</b> Estructura de Costos	84
<b>Cuadro 4.</b> Estado de resultados	85
<b>Cuadro 5.</b> Balance General	85
<b>Cuadro 6.</b> Flujo de Caja	86
<b>Cuadro 7.</b> Estadísticas VPN	90
<b>Cuadro 8.</b> Simulación Variable de Inversión	91
<b>Cuadro 9.</b> Resumen de datos	94

## LISTA DE FIGURAS

	<b>PAG.</b>
<b>Figura 12.</b> Diseño equipo electrocoagulación	76
<b>Figura 13.</b> Equipo a nivel de laboratorio	77
<b>Figura 14.</b> Celda electrolítica	77
<b>Figura 15.</b> Precio mundial de azúcar crudo	80
<b>Figura 16.</b> Evolución de los precios del petróleo y el azúcar crudo	81
<b>Figura 17:</b> Distribución Variación Precio azúcar crudo	87
<b>Figura 18:</b> Distribución Variación Demanda azúcar crudo	87
<b>Figura 19.</b> Correlación demanda-precio azúcar crudo	88
<b>Figura 20:</b> Distribución TRM	88
<b>Figura 21.</b> Distribución Aumento productividad	89
<b>Figura 22.</b> Distribución Variación IPC	89
<b>Figura 23.</b> Gráfico de frecuencias para el VPN	90
<b>Figura 24.</b> Gráfico de frecuencias para el VPN	91
<b>Figura 25.</b> Gráfico de sensibilidad para el VPN	92
<b>Figura 26:</b> Árbol de eventos del proyecto	93
<b>Figura 27.</b> Árbol de decisión de la opción de diferir	94

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad la Universidad del Valle cuenta con más de veinte escuelas y centros de investigación, los cuales fomentan el desarrollo de nuevos conocimientos (tecnologías) en distintas áreas de la industria. La base del desarrollo de estos conocimientos son la innovación y el mejoramiento continuo de las empresas, lo cual contribuye a mejorar la competitividad de la región y del país. Estos conocimientos son la fuente de insumo para la transferencia de tecnología por parte de la universidad al sector productivo, por lo tanto se debe establecer una metodología adecuada de valoración económica y protección de la propiedad intelectual generada dentro de la universidad.

Se debe tener en cuenta que en la valoración económica de un proyecto están involucrados diferentes efectos económicos, técnicos, financieros, institucionales, jurídicos, ambientales, políticos y organizativos, los cuales son resultado de un estudio de mercado que se debe llevar a cabo para la formulación del proyecto. Teniendo en cuenta los diferentes efectos, se puede lograr una adecuada valoración económica de estas tecnologías, las cuales brindarán la información de factibilidad de un proyecto. Por esta razón la valoración económica es una etapa primordial durante la transferencia de tecnología por parte de la universidad a la industria, ya que se puede obtener una idea aproximada sobre el valor del proyecto y su posterior valor de venta, los cuales protejan los intereses de la universidad.

Actualmente el problema de la transferencia tecnológica por parte de la universidad a las empresas radica en que no se toman en cuenta los factores mencionados en el párrafo anterior, lo cual ha generado que la universidad centre la valoración de los nuevos proyectos de innovación en la parte técnica, basándose primordialmente en el costo de la realización de la investigación y no en el mercado potencial de la nueva tecnología y los beneficios económicos futuros que éste generará a las empresas, ocasionando una subvaloración de los resultados de investigación desarrollados por la universidad.

Para el desarrollo del proyecto de grado se va a tomar como caso de estudio un nuevo proceso desarrollado por la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad del Valle, para el tratamiento de vinazas<sup>1</sup>, el cual está enfocado en disminuir los sólidos totales de ésta y así reducir diferentes costos de operación en la producción de etanol, tales como energía y mantenimiento. Con este nuevo proceso los ingenios van a percibir mayores ingresos por la producción de alcohol, debido a que no deben realizar paradas constantes en su proceso productivo para la limpieza de los evaporadores en los cuales

---

<sup>1</sup> La Vinaza es el desecho industrial que resulta de la melaza de la caña de azúcar, utilizada en la destilación del alcohol.

se encuentra la vinaza. Por lo tanto, dicho proceso reemplaza técnicas actuales, creando valor agregado para los ingenios del país, disminuyendo directamente el impacto ambiental de estos residuos líquidos.

Este nuevo proceso desarrollado es innovador en el mercado, el cual puede ser adaptado a las tecnologías que actualmente poseen los ingenios en sus destilerías de etanol, generando de esta forma ahorros en el proceso de producción de etanol. Por lo tanto es de gran importancia conocer el mercado asociado a esta nueva tecnología, y los diferentes factores que influyen en su valoración, con lo cual se pueda realizar una adecuada valoración generando un beneficio económico en la transferencia de tecnología, tanto para la Universidad como para la industria.

Bajo tales consideraciones, el problema de investigación del presente proyecto se puede definir como la falta de aplicación de una metodología adecuada de valoración para proyectos de investigación de las universidades y centros de investigación que pueden ser aplicables al sector industrial, ocasionando una incorrecta transferencia tecnológica, disminuyendo los beneficios económicos que ingresen a la universidad.

## **OBJETIVO GENERAL**

Implementar un método de valoración de proyectos de innovación de tecnologías de proceso, tomado como caso de análisis el proceso de electro-coagulación/flotación/oxidación de Vinaza proveniente de destilería, desarrollado por la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad del Valle.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar los aspectos más importantes del proceso de innovación y los factores que le dan valor a la misma.
- Investigar sobre la transferencia tecnológica e identificar las variables que influyen en la relación universidad-empresa.
- Identificar y seleccionar métodos de valoración de proyectos de innovación tecnológica.
- Identificar y describir el proceso de investigación y desarrollo llevado a cabo por la Escuela de Ingeniería Química.
- Caracterizar el proceso de generación de vinaza y problemas que se presentan en el mismo.
- Aplicar una metodología de valoración para el caso de tecnología de innovación del proceso de vinaza proveniente de destilerías de etanol.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad las relaciones Universidad-Empresa-Estado se han convertido en un tema central para el desarrollo económico de los países que se preocupan por generar mejores condiciones de competencia en el escenario internacional. En estas relaciones es necesario que las universidades se encaminen en un proceso de ajuste y de aprendizaje institucional, con el cual se pueda explotar eficaz y eficientemente la propiedad intelectual generada a través de las actividades de investigación.

La transferencia de tecnología<sup>2</sup> es un elemento clave para lograr el desarrollo y competitividad internacional por parte de las empresas, lo cual es necesario para sobrevivir en los mercados actuales. Con estas transferencias tecnológicas se genera mayor valor agregado a los clientes, con mejores niveles de productividad en las empresas. Esta transferencia de tecnología en sus diferentes formas y canales es una oportunidad de innovación, la cual puede proporcionar formas más eficientes para la realización de un trabajo, convirtiéndose de este modo en un elemento clave para los planes de negocio de las industrias. La Universidad del Valle como institución académica, proporciona a la región y al país nuevas tecnologías, las cuales se convierten en un insumo para el desarrollo de las diferentes organizaciones.

Para lograr que una transferencia de tecnología sea exitosa, se debe fortalecer la relación de la Universidad con el sector productivo, de esta forma el proceso de investigación se basaría en la búsqueda de soluciones a las dificultades que enfrentan las empresas. Uno de los objetivos de la Universidad debe estar relacionado a la protección, transferencia y negociación de los resultados de investigación, logrando de esta forma beneficios económicos que pueden ser reinvertidos en proyectos de investigación y en ingresos a los investigadores.

Para identificar y analizar los diferentes elementos relacionados en la transferencia tecnológica Universidad- Empresa, este texto pretende mostrar las diferentes falencias de los desarrollos de las investigaciones y como éstos deben ir ligados a las necesidades de las empresas. De forma práctica se abordará un caso específico, el cual se basa en un proceso para el tratamiento de las vinazas desarrollado por la Escuela de Ingeniería Química, que se encuentra en la fase inicial de investigación, el cual será valorado teniendo en cuenta los diferentes parámetros.

La estructura que sigue el presente trabajo de grado es:

---

<sup>2</sup> La transferencia de tecnología, es la "transferencia de conocimiento sistemático para la elaboración de un producto, la aplicación de un proceso o la prestación de un servicio" (UNCTAD 1990 - Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo).

- En el capítulo 1 se divide en dos secciones, en la primera se señalan algunos conceptos y definiciones sobre la innovación. En la segunda se detalla la teoría sobre la investigación y desarrollo tecnológico, se describe su relación con las universidades y se explica la función de los Sistemas Nacionales de Innovación en Colombia.
- En el capítulo 2 se describe un mecanismo de protección de las innovaciones, específicamente el de las patentes. Los elementos más importantes en el proceso que se deben seguir para lograr la protección.
- En el capítulo 3 se identifican los mecanismos institucionales para la transferencia tecnológica desde el contexto de las universidades, describiendo más a fondo los Spin-off. Se estudian los modelos de transferencia tecnológica y se detalla el proceso de los resultados de investigación en la Universidad del Valle.
- En el capítulo 4 Se describen brevemente dos de los principales métodos que se utilizan para la valoración económica de activos, esto se hace con el fin de dar una introducción a la valoración que se realizará en el siguiente capítulo.
- El capítulo 5 se divide en tres secciones. En la primera parte se realiza la investigación del entorno al cual va dirigido el proyecto del tratamiento de la vinaza. En la segunda parte se realiza la investigación del proceso de producción del etanol, detallando la innovación desarrollada por la escuela de ingeniería Química. En la última fase del proyecto de grado se realiza la valoración del caso estudio, analizando los resultados obtenidos.

## 1. LA INNOVACIÓN

### 1.1 El concepto de innovación y su relación con I+D (Investigación y Desarrollo)

El concepto de innovación ha pasado por varios cambios importantes durante el último decenio: se ha puesto en tela de juicio la idea de que se trata de una secuencia lineal que comienza desde las actividades científicas y de investigación y va hasta las aplicaciones para el mercado. Actualmente la innovación se ha convertido en una de las referencias claves de la economía, donde este proceso de cambio se encuentra cada vez más dominado por las mejoras en las diversas ramas de la tecnología (Generalmente, se entiende por tecnología el conjunto de teorías y técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico, recogiendo la técnica a los distintos procedimientos y recursos que están disponibles, incluyendo la habilidad para usarlos)<sup>3</sup>, concentrando la atención, fundamentalmente, en la innovación de carácter tecnológico.

#### 1.1.1. Algunas definiciones

Algunas definiciones serán útiles para la comprensión de diversos conceptos tales como I+D e innovación tecnología, entre otros. A lo largo de los años los distintos autores y expertos en la materia definen las innovaciones con trabajos y matrices personales, en los cuales se logra ver un concepto en común: la innovación es una nueva idea hecha realidad o llevada a la práctica.

El concepto de innovación ha sido objeto de múltiples análisis dentro de las teorías económicas, empresariales y sociales. El origen del término se sitúa en los postulados del economista austriaco Joseph Schumpeter, en el libro *Teoría del Desarrollo Económico*<sup>4</sup>. Allí el autor apunta a fenómenos asociados con la esfera industrial y comercial, que alteran de manera espontánea y discontinua los procesos de la vida. Schumpeter<sup>5</sup> tuvo en cuenta diferentes tipos de casos para ser considerados como una innovación, los cuales son:

---

<sup>3</sup> MENDIZÁBAL, Guillermo Alexandre. Las estrategias para la innovación tecnológica en Castilla y León. Valladolid, 2002. Tesis de Doctorado. Universidad de Valladolid. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Departamento de Economía Aplicada. p. 29

<sup>4</sup> BECERRA RODRIGUEZ, Fredy y NARANJO VALENCIA, Julia Clemencia. La innovación tecnológica en el contexto de los clusters regionales. Cuad. Adm. [en línea]. 2008, vol.21, n.37, p. 139. ISSN 0120-3592. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/cadm/v21n37/v21n37a07.pdf> [citado en 1 de Junio de 2009]

<sup>5</sup> SCHUMPETER, Joseph Alois. 1935. Análisis del cambio económico. Ensayos sobre el ciclo económico. Ed. Fondo de cultura económica, México. Disponible en <<http://eumed.net/cursecon/textos/schump-cambio.pdf>> [citado en 1 de Junio de 2009]

1. Introducción en el mercado de un nuevo bien o servicio, el cual los consumidores no están aun familiarizados.
2. Introducción de un nuevo método de producción o metodología organizativa.
3. Creación de una nueva fuente de suministro de materia prima o productos semielaborados.
4. Apertura de un nuevo mercado en un país.
5. Implantación de una nueva estructura en un mercado.

Otras definiciones se derivan de la mencionada anteriormente, el francés André Piatier (1987) define la innovación como “una idea transformada en algo vendido o usado”. El americano Sherman Gee (1981) afirma que “la innovación es el proceso en el cual, a partir de una idea, invención o reconocimiento de una necesidad se desarrolla un producto, técnica o servicio útil hasta que sea comercialmente aceptado”<sup>6</sup>. El manual de Frascati<sup>7</sup> sugiere que la innovación es la transformación de una idea en un producto negociable, nuevo, mejorado, en un proceso operativo en la industria y en el comercio o en nuevo método de servicio social (OCDE, 1992).

Observamos que estas definiciones concuerdan con el hecho que la innovación termina con la introducción exitosa en el mercado. Es decir, que una idea, una invención o un descubrimiento se transforma en una innovación en el instante en que se encuentra una utilidad a ésta. Es importante resaltar que si los nuevos productos, procesos o servicios no son aceptados por el mercado, no existe innovación, por tal motivo la innovación se convierte en un elemento clave de la competitividad. El profesor Christopher Freeman de la Universidad de Sussex, insiste en que una innovación fracasa cuando no consigue una posición en el mercado y/o un beneficio, aunque el producto o proceso funcione en un sentido técnico<sup>8</sup>.

La innovación será tecnológica cuando tenga que ver con la ciencia y la tecnología, lo cual en las empresas significa la introducción de un cambio técnico en los productos o procesos. El Manual de Oslo de la OCDE afirma que la innovación tecnológica hace referencia tanto a los productos como a los procesos, así como las modificaciones tecnológicas que se llevan a término en ellos.

La innovación no es un accidente, sino un proceso, es algo que se guía, se mejora a lo largo del tiempo y se utiliza para lograr metas explícitas de

---

<sup>6</sup> ESCORSA, Pere; PASOLA, Jaume Valls. Tecnología e Innovación en la empresa. Ediciones PUC. España. 2003. 18 p. ISBN 84-8301-706-7.

<sup>7</sup> Manual elaborado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). En él se fijan los criterios para la medición de las actividades y se establecen las definiciones básicas de lo que ha de entenderse por Investigación y Desarrollo. Describen los requisitos que deben cumplir los indicadores de ciencia y tecnología

<sup>8</sup> ESCORSA, Op. Cit., p 19

crecimiento corporativo. Esta es la concepción moderna de la innovación, la que aplican las empresas de primer orden en el mundo, desde Microsoft hasta Procter & Gamble y BMW. Este mismo enfoque se está practicando en la actualidad en empresas colombianas como Alpina, Andercol, Proceplast entre otras, que ya tienen una tradición de aprendizaje sobre los procesos necesarios para concebir y lanzar productos innovadores al mercado. Ahora, las empresas colombianas necesitan aprender estas prácticas de innovación y a partir de ellas, apuntar al logro de posiciones destacadas en los mercados globales<sup>9</sup>, de la misma forma como lo hacen empresas como Apple, Google, Toyota Motor, General Electric, Microsoft, Tata Group, Nintendo, Procter & Gamble, Sony y Nokia entre muchas otras, que según la revista Business Week figuran en el ranking de las 50 compañías consideradas más innovadoras.<sup>10</sup>

### 1.1.2 Tipos de innovación

Evidentemente no todas las innovaciones tienen la misma importancia, de esta forma se puede realizar una clasificación de las innovaciones tecnológicas según su originalidad<sup>11</sup>:

- Radicales: se refiere a aplicaciones fundamentalmente nuevas de una tecnología, o combinación original de tecnologías conocidas que dan lugar a productos o procesos completamente nuevos.
- Incrementales: son aquellas que se refieren a mejoras que se realizan dentro de la estructura existente y que no modifican sustancialmente la capacidad competitiva de la empresa a largo plazo.

El alcance de la innovación tecnológica puede llegar a<sup>12</sup>:

- Producto: se considera como la capacidad de mejora del producto o desarrollo de nuevos productos mediante la incorporación de los nuevos avances tecnológicos que le sean aplicables a través de una adaptación tecnológica de los procesos existentes. Esta mejora puede ser directa o indirecta, directa si añade nuevas cualidades funcionales al producto para hacerlo más útil, indirecta, está relacionada con la reducción del costo del producto a través de cambios o mejoras en los procesos u otras actividades empresariales con el fin de hacerlas más eficientes.

---

<sup>9</sup> VESGA, Rafael. Innovación llegó para quedarse. En: Revista Dinero [en línea]. No. 10 (2007). Disponible en: <[http://www.dinero.com/wf\\_InfoArticulo.aspx?idArt=28779](http://www.dinero.com/wf_InfoArticulo.aspx?idArt=28779)> [citado en 1 de Mayo de 2009]

<sup>10</sup> BUSINESS WEEK. The 50 Most Innovative Companies 2009. Disponible en: <[http://bwnt.businessweek.com/interactive\\_reports/innovative\\_50\\_2009/?chan=magazine+channel+in%3A+inside+innovation](http://bwnt.businessweek.com/interactive_reports/innovative_50_2009/?chan=magazine+channel+in%3A+inside+innovation)> [citado en 1 de Junio de 2009]

<sup>11</sup> COSTA S., José. Innovación y propiedad industrial. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2006. p.16. ISBN: 84-9705-965-4

<sup>12</sup> Ibid., p. 16

- Proceso: consiste en la introducción de nuevos procesos de producción o la modificación de los existentes mediante la incorporación de nuevas tecnologías. Su objetivo fundamental es la reducción de costos, pues además de tener una repercusión específica en las características de los productos, constituye una respuesta de la empresa a la creciente presión competitiva en los mercados.

Los investigadores se han concentrado exclusivamente en las innovaciones radicales y se han ignorado las innovaciones incrementales que, aunque no constituyen avances tecnológicos significativos, tienen gran importancia económica; muchas de estas innovaciones las aportan los operarios de las respectivas áreas funcionales. De hecho, el cambio tecnológico en muchas empresas proviene principalmente de una sucesión de mejoras menores en la tecnología existente, ya sea por parte de los operarios de las propias empresas o por investigadores de universidades e instituciones que realizan pruebas y mejoras en los diferentes procesos de éstas<sup>13</sup>.

Los japoneses defienden la continua introducción de innovaciones incrementales, la cual denominan *Kaizen*, un sistema enfocado en la mejora constante. Actualmente, algunos investigadores piensan que las innovaciones incrementales no van a ser suficientes. Tom Peters, por ejemplo, expresa que: “Los tiempos locos requieren empresas locas. Y la mayoría, por no decir todo el valor creado por la empresa sea cual sea su tamaño o sector proviene de dos fuentes: la inteligencia y la imaginación. La mejora constantes-el Kaizen-, santo y seña de los ochenta, ya no basta. Sólo la revolución, o mejor, la revolución perpetua, sirve. La cuestión consiste en comprimir diez años de cambio, según las medidas de ayer, en un año o menos. Luego, respirar hondo y volver a empezar” (Barnet, 1997).<sup>14</sup>

## 1.2 Investigación y desarrollo tecnológico (I+D).

El proceso de innovación se divide en lo que se considera I+D y el resto. La I+D se desglosa a su vez en tres clases: investigación básica, investigación aplicada y desarrollo tecnológico.

La investigación básica se caracteriza porque parte de un marco teórico y permanece en él; la finalidad de esta investigación radica en formular nuevas teorías o modificar las existentes, incrementando los conocimientos científicos o filosóficos, pero sin contrastarlos con ningún aspecto práctico. En esta etapa los investigadores y científicos analizan propiedades, estructuras y relaciones con las cuales se formularan hipótesis, teorías y

<sup>13</sup> FUNDACIÓN COTEC PARA LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA. Innovación para el desarrollo local. Libro Gijón. 1998. p 27

<sup>14</sup> ESCORSA, Op. Cit., p. 39

leyes que serán reconocidas como un descubrimiento si han sido bien elaboradas y justificadas.

La Investigación aplicada parte de los trabajos originales desarrollados en la investigación básica, pero con el objetivo de adquirir conocimientos nuevos orientados a un objetivo práctico determinado. Los resultados de estas investigaciones son susceptibles de ser patentados, para una futura explotación comercial. En esta etapa los científicos y técnicos se preocupan por la aplicación a la industria, en la cual se resalta la importancia del conocimiento del mercado al cual va a ir dirigido la investigación, mostrando interés en las ganancias económicas futuras de la investigación aplicada.

El desarrollo tecnológico comprende la utilización de los conocimientos adquiridos en la investigación aplicada para la producción de materiales, dispositivos, procedimientos o servicios nuevos. En esta etapa la empresa ha conseguido los conocimientos "*Know-How*" (saber hacer) y se desarrolla los prototipos o plantas pilotos.

Por último si los resultados del prototipo son eficaces y viables, se realiza inversiones para producir en grandes series y vender al mercado, entonces cuando el mercado acepta el producto o servicio, se convierte en innovación.

Aunque la innovación se puede dar sin la investigación, ésta es un medio para acceder a la tecnología. De todas formas, si los diferentes entes económicos que participan en un país no investigan, no se podrá llegar a la vanguardia, lo cual ayuda a formar empresas líderes en el mercado que desarrollan y tienen una base sólida en investigación y desarrollo. En el ámbito de la empresa, un nivel adecuado de I+D da lugar a nuevos productos y a una continua reducción de costos de producción, éstos generan más beneficios y la consiguiente reinversión<sup>15</sup>.

Durante los últimos años los costos de I+D han incrementado exponencialmente en muchos países, a la vez han aumentado la velocidad del cambio tecnológico, la complejidad de las nuevas innovaciones y el tiempo necesario para desarrollarlas. Estas tendencias obligan a las empresas a intentar recuperar los costos de I+D en poco tiempo, mediante el lanzamiento de sus productos a escala mundial<sup>16</sup>.

Las decisiones sobre I + D son más determinantes que nunca para el éxito y la supervivencia de las empresas que aspiran obtener gran parte del mercado, es por ello que las grandes empresas como es el caso de las farmacéuticas realizan grandes inversiones en I+D. Hay que tener en cuenta

---

<sup>15</sup> ESCORSA, Op. Cit., p 32

<sup>16</sup> INNOVACION, VIGILANCIA E INTELIGENCIA.DE LA VIGILANCIA TECNOLÓGICA A LA INTELIGENCIA COMPETITIVA. En: <http://www.intempres.pco.cu/Intempres2000-2004/Intempres2000/Sitio/Principal/Conferencias/Maspons1.doc>.

que esta asignación de recursos, a la I+D, hace reducir la rentabilidad inmediata, pero en esta competencia cada vez más globalizada una empresa puede quedarse por fuera con la aparición de una nueva tecnología. William Mathews, profesor del Institute for Management Development de Lausana, afirma que “Las empresas pueden quebrar si gastan demasiado en I+D pero pueden desaparecer también si gastan demasiado poco”<sup>17</sup>.

### **1.2.1 El papel de las universidades en el desarrollo tecnológico**

Las instituciones universitarias en Colombia en general, han vivido durante muchas décadas centradas en la transmisión estricta de conocimientos y han generado pocas experiencias para la formación y el desarrollo de valores, actitudes y habilidades personales y grupales, centrándose principalmente en la oferta de sus capacidades y no en la demanda, la cual se entiende como las necesidades del entorno, lo que ha impedido mejorar y reorientar sus capacidades para contribuir al progreso de la sociedad. El nuevo papel de la universidad, para lograr una mayor intervención en el desarrollo de la actividad económica, implica reorientar la docencia y la investigación, por medio de la extensión con los diferentes entes económicos de la región, para que actúe con más pertinencia y con mayor responsabilidad con el entorno socioeconómico<sup>18</sup>.

Para las universidades Colombianas es muy claro que en los últimos veinte o treinta años se ha iniciado un proceso de cambio, pasando de universidades de formación a universidades de investigación, la cual se basa en una transformación del Sistema Universitario Nacional, enfocada en el desarrollo científico y tecnológico del país.

Hoy en día, se impone a las universidades el reto de asegurar el desarrollo del país, a través de la transferencia tecnológica, la innovación y la gestión del conocimiento, el cual consiste en permitir a las universidades dar el salto a los grandes elementos de cambio, de conocimiento y de transformación tecnológica, esto ha generado que en los últimos años el país haya tenido un crecimiento significativo de sus capacidades científicas y tecnológicas, garantizadas fundamentalmente por el cambio universitario.

Estos cambios están representados por una población en ascenso que investiga y que se reúne para formar grupos de investigación que desarrollan proyectos en diversas áreas del conocimiento. Actualmente, los datos de Colciencias registran un total de 7.083 grupos de investigación, cifra que supera en más de cien veces el número de grupos que existía en los años 80

---

<sup>17</sup> Ibid

<sup>18</sup> JARAMILLO, Jorge. La gestión tecnológica y la relación universidad empresa. En: Revista UEE. Edición No.1. 56 p. Enero 2008.

en el país<sup>19</sup>, generando cambios que han propiciado la generación de publicaciones e innovaciones.

Las Universidad de California (San Diego, Estados Unidos) y el Politécnico de Torino (Turín, Italia) son claros ejemplos de la transformación de las universidades a un contexto de innovación y desarrollo tecnológico, éstas son un prototipo de cómo se debe desarrollar el cambio en las instituciones de educación superior, logrando así convertir el sistema universitario (público y privado) en un motor de desarrollo regional y nacional<sup>20</sup>.

La Universidad de California se convirtió en Estados Unidos en la primera institución en invenciones: 6.600 en su historial y la que más patentes ha obtenido, además de los beneficios obtenidos por transferencia de tecnología, los cuales fueron 19,5 millones de dólares en el año 2004, y se destinaron a reinversión en investigación y educación. Cabe destacar que en ese mismo año, 1.172 inventores de la UC se repartieron 25,3 millones de dólares, ganados por licencias de sus invenciones. A la fecha, el total de compañías creadas por el Sistema Investigativo de la UC para comercializar tecnología de invenciones propias, supera las 250, al tiempo que los investigadores de la UC colaboran con más de 1.300 compañías californianas que aplican I+D de manera intensiva<sup>21</sup>.

Estos avances en las universidades estadounidenses se lograron gracias al fortalecimiento de las relaciones universidad-empresa-estado, logrando desarrollar mejores relaciones y beneficios para las instituciones favorecidas. Es necesario tener en cuenta que las interrelaciones entre universidades y empresas están cambiando en una forma fundamental, hacia una cultura basada en la colaboración, que el progreso económico se basa cada día más en la explotación de nueva información y nuevos conocimientos, que las economías tienen bases regionales, pero también operan en los ámbitos internacionales, que el aislamiento ya no es posible en un mundo globalizado y que por su relativamente baja inversión de capital, la comercialización de avances científicos y tecnológicos está al alcance de los países en desarrollo<sup>22</sup>.

Las regiones competitivas y socialmente avanzadas cuentan con las universidades como un aliado estratégico clave, ya que éstas deben ayudar a contribuir a la solución de los problemas del subdesarrollo, promover una nueva cultura de proyectos asociativos y ejercer el papel de agentes del desarrollo territorial. Siendo la academia una fuente de conocimiento básico, su comprensión, divulgación y transferencia son un compromiso social, puesto que el sector público y el sector privado de la economía requieren de

---

<sup>19</sup> Ibid.

<sup>20</sup> MACAGNO, Eduardo. El papel de la universidad en el nuevo entorno. Revista UEE. Edición No. 1. 48 p

<sup>21</sup> MACAGNO, Eduardo. El papel de la universidad en el nuevo entorno. Revista UEE. Edición No. 1. 48 p

<sup>22</sup> Ibid., p. 48.

este insumo para incorporarlo y mejorar los productos, ofrecer productos nuevos y servicios más competitivos. Por lo tanto, es fundamental compartir la capacidad científica, tecnológica y de gerencia de negocios para el desarrollo social y económico del territorio. De esta manera la universidad se constituye en un auténtico servicio público referido a los intereses generales de toda la sociedad<sup>23</sup>.

Se debe tener en cuenta por lo tanto, que las universidades desempeñan un papel clave en los propósitos y ambiciones de los países en ser líderes en innovación y las ventajas que esto representa en materia de riqueza nacional y empleo.

### **1.2.2 Sistema Nacional de Innovación en Colombia**

El Sistema Nacional de Innovación de Colombia, fue institucionalizado por una decisión del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología en Junio de 1995, el cual se concibe como un “modelo colectivo e interactivo de aprendizaje, acumulación y apropiación del conocimiento, en el que intervienen los diversos agentes ligados con el desarrollo tecnológico, la producción y comercialización de bienes y servicios, dentro de un proceso de búsqueda permanente de la competitividad sostenible y del mejoramiento en la calidad de vida de la población”<sup>24</sup>

El Sistema Nacional de Innovación está integrado al Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología y se orienta hacia el fortalecimiento de la cultura empresarial para la innovación, la apropiación social del conocimiento, la transferencia tecnológica nacional e internacional, la adopción de nuevos modelos educativos para liberar la creatividad y aprender a generar conocimientos útiles a la sociedad y la participación de las regiones en la construcción de un modelo de innovación.

El Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología es un sistema abierto del cual forman parte las políticas, estrategias, programas, metodologías y mecanismos para la gestión, promoción, financiación, protección y divulgación de la investigación científica y la innovación tecnológica, así como las organizaciones públicas, privadas o mixtas que realicen o promuevan el desarrollo de actividades científicas, tecnológicas y de innovación.

En enero de 2009 fue sancionada la Ley 1286 por la cual se cambia la naturaleza de Colciencias<sup>25</sup> al convertirse en departamento administrativo con autonomía presupuestal, al mismo nivel que el Departamento Nacional de Planeación, y asume las funciones de coordinación del sector.

---

<sup>23</sup> Ibid., p. 56

<sup>24</sup> Ley CONPES 2875 de 1995

<sup>25</sup> Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología “Francisco José de Caldas”

La nueva Ley fortalece el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (Snciti), trazándole algunos objetivos, como propiciar la generación y uso del conocimiento, a través del desarrollo científico, tecnológico y la innovación, y fomentar y consolidar los centros y grupos de investigación particulares y de universidades.

Entre los objetivos del nuevo Departamento de Ciencia y Tecnología está articular y enriquecer la investigación con el sector privado, en especial con el sector productivo, y propiciar la formación de investigadores en Colombia, así como fortalecer la capacidad del país para actuar de manera integral en el ámbito internacional, en aspectos relativos a la ciencia, tecnología y la innovación.

## 2. LA PROTECCIÓN DE LA INNOVACIÓN: PATENTES

De acuerdo a lo anteriormente expuesto el conocimiento se ha convertido en un activo esencial que posiciona a las empresas y universidades frente al mercado mundial. Por lo tanto, en esta sociedad del conocimiento es muy relevante el capital intelectual representado por las patentes, las marcas, el *know-how*, secretos comerciales, entre otros.

Al tomarse conciencia del valor intrínseco que proporciona a las diferentes entidades de un país, el capital intelectual se ha ido enfocando en el desarrollo de sistemas que transforman en forma más eficiente los retornos económicos y financieros de la cartera de propiedad industrial.

### 2.1 La necesidad de patentar

En un contexto en que los mercados son cada vez más cambiantes y globales la necesidad de proteger los productos y de conservar la propiedad de los procesos e innovaciones se ha convertido en un factor de gran importancia para las empresas y centros de investigación. La propiedad intelectual y la propiedad industrial sirven para que se cumplan las leyes que protegen al que primero ha desarrollado una creación o un producto, un servicio o un proceso.

Las protecciones aparecen en el mundo económico como un incentivo para la innovación. Las patentes inscritas en el registro de la propiedad aseguran que los resultados de un proyecto de investigación se pueden proteger de su explotación y evitan que se repitan desarrollos ya efectuados, duplicando esfuerzos. No sólo son patentables los inventos o innovaciones sino también la mejora de procesos y equipos, especialmente si reducen el consumo de energía o las emisiones contaminantes. También las aplicaciones de productos o procesos.

#### 2.1.1 Los principales instrumentos

Las distintas variedades de la propiedad industrial se pueden agrupar en torno a las invenciones, los signos distintivos y el diseño industrial.

- 1) Las invenciones se protegen mediante *patentes* y los *modelos de utilidad*, que registran e impiden la fabricación, venta y comercialización de la invención. Esta protección esconde una relación contractual entre el autor de la invención y el estado. Se trata de conceder un derecho de explotación en un periodo determinado para que el inventor pueda recuperar la inversión efectuada y conseguir unos beneficios por el riesgo asumido.

- 2) Los *signos distintivos* se trata de las marcas, los nombres comerciales y los rótulos de los establecimientos.
- 3) El *diseño industrial* engloba los modelos industriales cuando los diseños se refieren a cuerpos en tres dimensiones y los dibujos industriales cuando tienen sólo dos dimensiones.

Si se considera la patente como el elemento de referencia en lo que a protección de las innovaciones se refiere, se encuentran otros caminos que permitan tanta o más eficacia, aunque presenten algunas limitaciones. La alternativa más importante es el *secreto industrial*, o *know-how*, el cual indica que la empresa conoce el funcionamiento de un proceso que le otorga ventaja competitiva respecto a otras que aún no disponen de estos conocimientos. El *Know-how* se puede definir como “un conjunto de conocimientos técnicos, industriales o comerciales, no patentados, de carácter secreto y de un cierto valor para la empresa”.

Se deben tener en cuenta los factores más importantes para elegir la protección registrada o el secreto, entre éstos se encuentran el ciclo de vida de la tecnología, la probabilidad de obtener la patente solicitada, la disponibilidad financiera de tener y mantener patentes en distintos países.

Las funciones de las diferentes formas de propiedad industrial se pueden clasificar en:

- La protección
- La transferencia
- La información

En el caso de las patentes, se da protección al innovador y se le bonifica con la exclusividad de los derechos de comercialización y fabricación para que pueda recuperar las inversiones realizadas. La función de transferencia se basa en que la patente, al ser un activo inmaterial, es negociable y transferible. La transferencia de patentes se utiliza especialmente en la tecnología avanzada, en las empresas de sectores tradicionales es más importante el secreto empresarial.

## **2.2 La protección de las invenciones**

Como se ha mencionado las patentes es un mecanismo que cobra mucha importancia en la protección de los inventos e innovaciones desarrolladas en las universidades, centros de investigación y empresas entre otros.

A continuación explicaremos el mecanismo que se debe llevar a cabo para la solicitud de patentes y la importancia que estas generan para el desarrollo del país.

### **2.2.1 Las patentes de invención y los modelos de utilidad en Colombia**

La patente es un certificado que otorga el Gobierno de un país, que da a su titular el derecho de explotar e impedir temporalmente a otros la fabricación, venta o utilización comercial de la invención protegida. El título de propiedad se le otorga a todo nuevo producto o procedimiento que ofrece una nueva manera de hacer algo, o una nueva solución técnica a un problema. El modelo de utilidad es un título de propiedad que se otorga a toda nueva forma, configuración o disposición de elementos, de algún artefacto, herramienta, instrumento, mecanismo u otro objeto o de alguna parte del mismo, que permita un mejor o diferente funcionamiento, utilización o fabricación del objeto que le incorpore o que le proporcione alguna utilidad, ventaja o efecto técnico que antes no tenía<sup>26</sup>.

La patente de invención se concede por un término de veinte (20) años y la de Modelo de Utilidad se concede por un término de diez (10) años, contados a partir de la fecha de presentación de la solicitud.

Los objetivos de las patentes se pueden ver desde diferentes ángulos, entres los cuales se destacan: brindar protección a los adelantos tecnológicos, estimular la creatividad, recompensar al inventor, promover el progreso de la ciencia y la tecnología, industrializar, reforzar la posición competitiva en los mercados nacionales e internacionales.

### **2.2.1.1 Ventajas de patentar**

Las patentes representan una serie de ventajas claramente perceptibles relacionadas con su objetivo fundamental de protección cuando se comercializa el invento patentado. Así se percibe como beneficio directo el producido por el propio monopolio de explotación; el beneficio obtenido al otorgar una licencia a un tercero para su explotación; la posibilidad para realizar una asociación con otra empresa para su comercialización; licencias cruzadas; o la propia venta de la patente.

Existen otras series de ventajas asociadas a ese valor intangible que tienen las patentes, entre los cuales se destacan:

- Una posición dominante o privilegiada para la negociación con otras empresas.
- La facilidad de adquisición de financiación de recursos ajenos y atrae a nuevos inversores.
- El aumento del prestigio de las entidades, y su imagen de calidad y por lo tanto mejora su posición frente al consumidor o cliente.

---

<sup>26</sup> SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO. Cómo solicitar una patente. [en línea]. <[http://www.sic.gov.co/propiedad/Nuevas\\_Creaciones/Patentes/Archivos/Como\\_Patente.pdf](http://www.sic.gov.co/propiedad/Nuevas_Creaciones/Patentes/Archivos/Como_Patente.pdf)> [citado en 1 Agosto 2009]

- Es un exponente real de su fortaleza técnica y competitiva ya que representan una clara actitud de generación de valor interno orientado a la innovación.
- Aumentan el valor total de las organizaciones frente a posibles adquisiciones o fusiones con otras empresas.

Estas ventajas son en muchas ocasiones el motivo principal de la existencia de una cartera de patentes en diferentes organizaciones. Las patentes pueden llegar a ser el principal activo de una empresa, incluso aunque no se realicen beneficios de forma directa asociados a esos títulos. La propiedad industrial y en su caso la patente es un parámetro que cuantifica adecuadamente el afán de innovación. Una política orientada hacia la propiedad industrial es en definitiva una orientación hacia el progreso y la competitividad. En el estudio publicado por la Comisión Europea “The Value of Patents for today’s Economy and Society” (Mayo 2005) se reflejan los diferentes usos y motivos para patentar extraídos de datos de la encuesta PatVal-EU en el entorno europeo:

- Uso interno: Para explotación industrial o comercial. Se poseen los elementos necesarios para su puesta en el mercado.
- Licencia: Se vende para su explotación por otro.
- Licencia-Cruzada: Se licencia en contrapartida por otra innovación
- Licencia y Uso: Por motivos de capacidad o difusión.
- Bloqueo de competidores: La patente que tiene un elemento esencial para el desarrollo no se licencia con el objeto de entorpecer a la competencia.
- Patente dormida: En estado latente en prevención de posibles acciones.

Entre los derechos que otorgan las patentes durante su tiempo de vigencia son:

- a) Cuando en la patente se reivindica un producto: Impedir fabricar el producto, ofrecerlo en venta, vender o usar el producto, o importarlo para alguno de estos fines.
- b) Cuando en la patente se reivindica un procedimiento: Impedir emplear el procedimiento o ejecutar cualquiera de los actos indicados en el literal anterior respecto a un producto obtenido directamente mediante el procedimiento.

### **2.2.2 Las vías para patentar**

Actualmente en Colombia se pueden obtener patentes de dos formas:

- a) La vía nacional, solicitándolas a la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC).
- b) La vía internacional o PCT (Tratado de Cooperación en Materia de Patentes), solicitándolas a la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI).

### **2.2.2.1 La vía nacional**

En Colombia La Superintendencia de Industria y Comercio (SIC), a través de la División de Nuevas Creaciones, es la Oficina Nacional competente encargada de las patentes. Bajo la figura de patente en Colombia pueden protegerse las invenciones como tal (patente de invención) y los modelos de utilidad (patente de modelo de utilidad). Debe tenerse en cuenta que la patente otorga una protección territorial y temporal y que una vez vencido el tiempo de protección, la invención es de dominio público y cualquier persona puede utilizarla libremente.

La concesión de la patente otorga la protección de la invención y/o el modelo de utilidad, sin embargo, dicho privilegio se otorga a partir de la fecha en la cual se presentó la solicitud ante la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC) y que en la Decisión 486 se establece claramente, en el artículo 239, que una vez concedida la patente el titular puede ejercer una acción judicial por daños y perjuicios contra los que han usado la invención o modelo de utilidad, durante el período comprendido entre la fecha de publicación y la fecha de concesión.

En el momento de sacar al mercado el producto de la invención antes de obtener la concesión de la patente, es recomendable marcar el producto objeto de la invención con la frase “patente pendiente”, pues ayuda a advertir a terceros que una vez otorgada la patente el titular puede hacer valer sus derechos exclusivos en la explotación, comercialización y producción de la invención.

Requisitos de patentabilidad: Los requisitos para la patentabilidad de una invención o modelo de utilidad fueron establecidos por medio de la Decisión 486 del Acuerdo de Cartagena la cual indica: “Los países miembros otorgarán patentes para las invenciones, sean de producto o de procedimiento, en todos los campos de la tecnología, siempre que sean nuevas, tengan nivel inventivo y sean susceptibles de aplicación industrial”. Los requisitos de patentabilidad se juzgan con respecto al *estado de la técnica*, el cual está constituido por todo lo que antes de la fecha de presentación de la solicitud se ha hecho accesible al público en Colombia o en el extranjero por una descripción escrita u oral, por una utilización, comercialización o por cualquier otro medio.

Para que una invención pueda ser objeto de Patente de Invención o de Modelo de Utilidad debe reunir los siguientes requisitos<sup>27</sup>:

Patente de invención: Novedad, Nivel Inventivo y Aplicación Industrial

Patente de Modelo de Utilidad: Novedad y Aplicación Industrial

- *Novedad*: significa que una invención es nueva cuando no está comprendida en el estado de la técnica.
- *Nivel Inventivo*: significa que la invención no debe deducirse del estado de la técnica de forma evidente para un experto en la materia. De modo que, la solución técnica en que consiste la invención no debe ser obvia para persona experta en campo técnico al que pertenece dicha invención.
- *Aplicación industrial*: significa que la invención puede ser fabricada o utilizada en cualquier tipo de industria, entendiéndose por industria la referida a cualquier actividad productiva, incluidos los servicios.

Excepciones de patentabilidad: No se puede proteger por Patente de Invención o Modelo de Utilidad, los descubrimientos, las teorías científicas o métodos matemáticos, los planes, las reglas, los métodos para el ejercicio de actividades intelectuales, para juegos o actividades económicas-comerciales, los programas de computador o el soporte lógico, ni la forma de presentar información.

### **2.2.2.2 La vía internacional**

Una patente obtenida en Colombia solamente protege su invención en el territorio nacional. Para poder obtener protección en varios países se puede presentar la solicitud mediante el Tratado de Cooperación en Materia de Patentes (PCT) que es un acuerdo de cooperación internacional que tiene como objetivo simplificar y hacer más eficaz y económico el procedimiento de presentación: de solicitudes de patentes en varios países.

El PCT le permite a través de una solicitud única (solicitud internacional) presentada en una sola oficina, (oficina receptora), y redactada en un solo idioma, tener los mismos efectos que una solicitud nacional. El solicitante puede ser cualquier persona natural o jurídica, nacional o domiciliado en Colombia. Si son varios los solicitantes, al menos uno de ellos debe cumplir con el requisito de nacionalidad y domicilio.

Mediante el PCT, sólo es posible proteger las invenciones solicitando patente de invención o modelo de utilidad, y títulos similares tales como certificados de inventor, certificados de utilidad, varias clases de patentes y certificados

---

<sup>27</sup> SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO, Op. Cit.

de adición, cuando la legislación nacional admita una de estas figuras. No es posible obtener protección para los diseños industriales ni las marcas de fábrica o comercio.

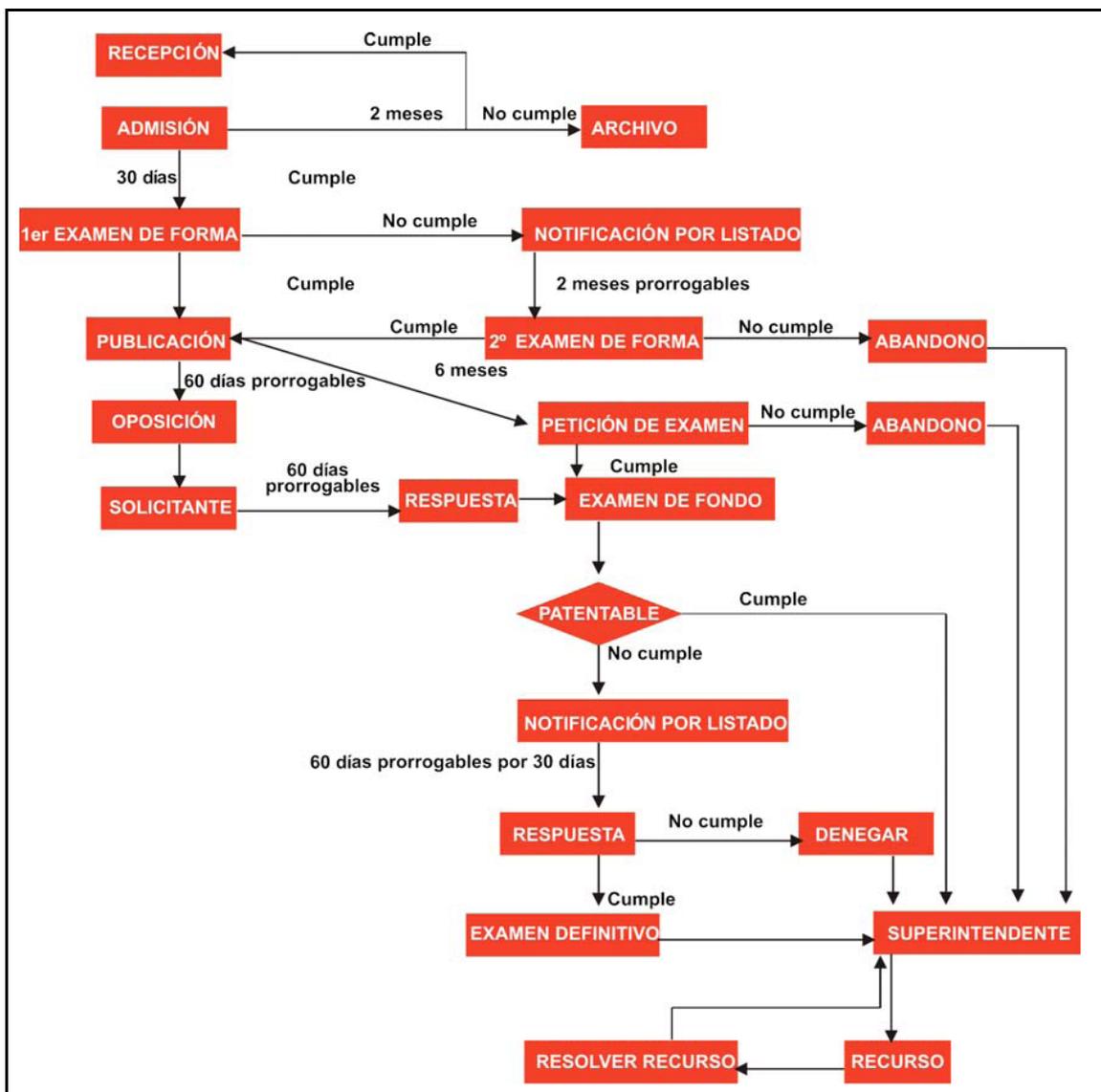
El tiempo necesario para la concesión de una patente dependerá del procedimiento de registro y de varios factores que varían. En Colombia la oficina de patentes lleva a cabo un examen de fondo para verificar si la patente cumple con los criterios de patentabilidad relativos a la novedad, la actividad inventiva y la aplicación industrial, todo el procedimiento, desde la solicitud a la concesión, llevará generalmente más de 12 meses, y en numerosos casos más de 18. No obstante, cabe observar que el procedimiento puede tomar más tiempo, especialmente en casos en que la legislación prevea procedimientos de oposición anteriores a la concesión de la patente o cuando permita el denominado examen diferido (es decir, cuando la patente se examine únicamente tras haberse presentado la petición correspondiente dentro de un determinado período de tiempo, que puede ser de varios años). Por otra parte, el sistema de examen diferido concede al solicitante más tiempo para decidir si merece la pena patentar su invención, teniendo en cuenta las posibilidades de comercialización y los costos involucrados en la obtención de la patente<sup>28</sup>.

En la figura 1 resume los pasos para el proceso de patentes nacional e internacionalmente.

---

<sup>28</sup> Ibid.

**Figura 1.** Diagrama de flujo para el proceso de patentes



**Fuente:** Universidad de Antioquia. Manual de patentes 2009.

### 3. LA TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA DESDE EL CONTEXTO DE LA RELACIÓN UNIVERSIDAD EMPRESA

Actualmente la actividad científica y tecnológica se enfrenta a un enorme cambio, fruto de la globalización y de los desafíos que plantean una nueva economía dirigida por el conocimiento. Por tal motivo para las empresas es de gran importancia mejorar la capacidad para introducir productos en el mercado con una mayor flexibilidad y rapidez, necesidades que se pueden satisfacer buscando las tecnologías adecuadas. Para poder conseguir una producción de bienes y servicios más abundante, de más calidad y más competitiva, se deben adquirir los conocimientos necesarios que no se tienen, los cuales se pueden obtener por medio de la compra de la tecnología, sin tener que esperar el tiempo que se tardaría en generarlos<sup>29</sup>.

Como se indicó en capítulos anteriores la tecnología es un sistema de conocimientos, técnicas, aptitudes, experiencia y organización utilizada para producir, comercializar y usar bienes y servicios que satisfagan demandas económicas y sociales. Puede decirse que la tecnología encuentra más aplicaciones en la esfera del desarrollo industrial que en ningún otro sector. Por medio de la actividad industrial, los nuevos conocimientos y aptitudes se incorporan y difunden en productos, maquinaria de producción, equipo, planta física, sistemas de comercialización, servicios y otros elementos de una forma más significativa que en otros sectores de la economía<sup>30</sup>.

La transferencia tecnológica es entendida como el proceso mediante el cual el sector privado obtiene el acceso a los avances tecnológicos desarrollados por los científicos, a través del traslado de dichos desarrollos a las empresas productivas para su transformación en bienes, procesos y servicios útiles, aprovechables comercialmente. Este proceso implica el conjunto de actividades que llevan a la adopción de una nueva técnica o conocimiento y que envuelve la difusión, demostración, entrenamiento y otras actividades que den como resultado la innovación. Así la transferencia tecnológica es un nexo entre la universidad y las empresas, para la generación de desarrollo científico técnico y económico. La transferencia conlleva un convenio, un acuerdo, y presupone un pago y por tanto la comercialización del conocimiento es un elemento inherente a este proceso<sup>31</sup>.

---

<sup>29</sup> TISSOT, Michel. Gestión de Tecnología. Guía Unidad 5. Pontificia Universidad Javeriana Cali. [en línea] □ <http://www.micheltissot.com/academia/gestecpuj/gestec5.pdf> □ [citado en 1 Agosto 2009]

<sup>30</sup> ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL. Manual para negociaciones de transferencias de tecnología. Viena, 1997. p 8

<sup>31</sup> Un Acercamiento al Concepto de la Transferencia de Tecnología en las Universidades y sus Diferentes Manifestaciones.

Otra definición de transferencia tecnológica dada por Karlsson<sup>32</sup> implica “la transferencia formal al sector comercial y para el beneficio público de nuevos descubrimientos o innovaciones generados por la investigación científica, llevada a cabo en universidades y en instituciones investigativas sin ánimo de lucro.”

La transferencia tecnológica es una importante vía de acceso a los nuevos conocimientos científicos y tecnológicos, a escala mundial, y, decisivo factor respecto a la innovación tecnológica del país. Ésta es evaluada por entidades especializadas según unos criterios específicos, con el objetivo de conciliar el interés institucional del adquiriente y los intereses sociales, que el estado representa<sup>33</sup>.

### **3.1. Mecanismos institucionales de gestión de la transferencia de tecnología<sup>34</sup>**

El conjunto de organismos que constituyen las infraestructuras de soporte a la innovación es un poderoso instrumento de articulación del sistema de innovación al ser instructora de interfaz entre agentes. Son unidades establecidas en un área de influencia que dinamizan, en materia de innovación tecnológica a los elementos de dicho entorno o de otros y fomenta y cataliza las relaciones entre ellos (Fernández de Lucio y Conesa cegarra, 1996)

Los distintos ámbitos que integran el sistema de innovación se clasifican en *Entorno Científico*, donde se lleva a cabo la producción de nuevos conocimientos y que va a incluir básicamente a las universidades y a los organismos públicos de investigación, el *Entorno Tecnológico*, en el que se desarrollan las tecnologías, el *Entorno Productivo*, donde se producen bienes y servicios aglutinando a las empresas que generan un alto valor agregado gracias a su componente tecnológico y el *Entorno Financiero*, en el que se ofrecen los recursos financieros para que los organismos de los demás ámbitos puedan llevar a cabo su actividad.<sup>35</sup>

El reconocimiento de la importancia y la complejidad de las relaciones de las instituciones de investigación con la industria ha motivado la generación de

---

<sup>32</sup> KARLSSON, Magnus. Commercialization of Research results in the United States. Swedish Institute for Growth Policy Studies, 2004.

<sup>33</sup> CORTÉS M., Elkin Alonso. La gestión y transferencia tecnológica cruce de caminos entre universidad- empresa.2008. p 3

<sup>34</sup> SOLLEIRO, Jose L.; RITTER DOS SANTOS, Elizabeth; ESCALANTE, Flor. En búsqueda de un sistema de prácticas para la vinculación exitosa de universidades y centros de I+D con el sector productivo.2008. p 8

<sup>35</sup> MENDIZÁBAL. Op. Cit., p. 136

un amplio rango de colaboraciones entre la academia, el gobierno y las empresas, con escalas, propósitos y duraciones variables<sup>36</sup>.

Estas actividades son fomentadas a través de diferentes formas institucionales y contractuales. De hecho, respecto a la variedad de mecanismos desarrollados para efectuar la interacción investigación-producción entre distintas organizaciones, se han hecho gran cantidad de intentos para trazar mapas generales que sinteticen el tipo de estrategias adoptadas. Sin embargo, las relaciones concretas que conducen a la transferencia de conocimiento son dependientes, en última instancia de las redes que cada institución establece de acuerdo con las características de su entorno (Solleiro y López, 1994)<sup>37</sup>. Debido a esto, la transferencia de tecnología de las universidades hacia las empresas, expresa un proceso evolutivo tanto en las organizaciones como en los países.

Stal (1998)<sup>38</sup>, a partir de trabajos de Geisler y Rubinstein (1989)<sup>39</sup> y de Bonaccorsi y Piccaluga (1994)<sup>40</sup>, sugiere una evolución en las formas de colaboración entre universidades y empresas que sigue esta trayectoria: (a) Relaciones personales informales (la universidad como tal no es involucrada) (b) Relaciones personales formales (convenios entre la universidad y la empresa), (c) Envolvimiento de una institución de intermediación (*liaison office*), (d) Convenios formales con objetivos definidos (e) Convenios formales sin objetivo definido, (f) Creación de estructuras especiales.

En la etapa más avanzada de interacción de la universidad, empresa y gobierno se presentan mecanismos destinados a ampliar los niveles de vinculación entre estas esferas institucionales. Aquí, las funciones asumidas por la universidad, como consecuencia de su mayor compromiso con el desarrollo económico, se expresan principalmente en forma de proyectos tecnológicos en asociación con empresas, de comercialización de los resultados de investigación, y de patentamiento de invenciones referidas a productos y procesos, y su consecuente licenciamiento<sup>41</sup>.

---

<sup>36</sup> WEBSTER, A. (1994), "International evaluation of academic-industry relations: contexts and analysis", Science and Public Policy.

<sup>37</sup> SOLLEIRO, J.L. y LÓPEZ, R. (1994), "La experiencia reciente de vinculación universidad-empresa en México" en Plonski.

<sup>38</sup> STAL, E. (1998) "Centros de Investigación Cooperativa y las motivaciones de las empresas" XX Simposio de Gestión de la Innovación Tecnológica. São Paulo, SP. 17 a 20 de Noviembre.

<sup>39</sup> GEISLER, E. y RUBINSTEIN, A. (1989) "University-Industry Relations: a Review of Major Issues". In: Link, A. N. & Tassej G. (editors). Cooperative Research and Development: the Industry-University-Government Relationship, Boston, MA, Kluwer Academic Publishers.

<sup>40</sup> BONACCORSI, A. y PICCALUGA, A. (1994) "A Theoretical Framework for the Evaluation of University-Industry Relationships". R&D Management, Vol. 24(3), pp. 229-247.

<sup>41</sup> SOLLEIRO, Jose L.; RITTER DOS SANTOS, Elizabeth; ESCALANTE, Flor. En búsqueda de un sistema de prácticas para la vinculación exitosa de universidades y centros de I+D con el sector productivo. p 8. [en línea] □ <http://www.cambiotec.org.mx/cyted/documentos/contratos/Solleiro-Ritter-Escalante.pdf> □ [citado en 1 Agosto 2009]

Ya que normalmente el investigador tiene como objetivo principal la realización de investigación científica y tecnológica, sin preocupación por su comercialización, es preciso crear mecanismos institucionales que faciliten esta tarea y, al mismo tiempo, profesionalizar su gestión. Dicha profesionalización, en la universidad, requiere la adopción de técnicas y enfoques propios de la empresa privada, lo que resulta en una novedad en el contexto de la organización universitaria.

Una oficina de transferencia tecnológica, un centro tecnológico, una incubadora de empresas, etc., constituyen mecanismos institucionales para atender una demanda de interacción específica, mientras que un contrato o una relación informal constituirían ejemplos de arreglos institucionales. Generalmente, los arreglos formales requieren actos o instrumentos legales, mientras que los arreglos informales se dan mediante relaciones personales para la prestación de servicios técnicos, análisis y pruebas, consultorías individuales, participación en talleres y seminarios, etc. Ritter dos Santos (2005)<sup>42</sup>, al analizar la evolución institucional de la vinculación de la universidad con el sector productivo clasifica los mecanismos institucionales, a partir del criterio de participación en:

- Unilaterales : creados por iniciativas de las universidades
- Bilaterales: que son los que involucran a la universidad y la empresa, o la universidad y el gobierno;
- Tripartitas: los cuales identifican los mecanismos creados por la iniciativa de la universidad, gobierno y empresas.
- Multilaterales: son aquellos en los que participan diversas organizaciones como asociadas.

A continuación se presentaran los principales mecanismos institucionales para la transferencia de tecnología, resaltando en un sub-capítulo posterior la importancia de la creación de los spin-off universitarios como mecanismo de transferencia de tecnología de las universidades a las empresas.

---

<sup>42</sup> RITTER, dos Santos M. (2005), "La Gestión de la Transferencia de Tecnología de la Universidad al Sector Productivo: Un Modelo para Brasil" Tesis de Doctorado en Ciencias de la Administración. Facultad de Contaduría y Administración. UNAM, México

**Tabla 1. Mecanismos para la transferencia de tecnología.**

Mecanismo institucional	Descripción
Fundaciones de apoyo	Institución de derecho privado sin fines de lucro constituida por personas físicas (profesores e investigadores) que, como tal, tienen mayor flexibilidad legal para suscribir contratos, formar equipos de ejecución de proyectos, adquirir equipamiento y ofrecer subsidios necesarios para realizar la interacción con el sector empresarial. La relación de la fundación de apoyo con la universidad normalmente es regulada por convenios donde la universidad cede espacio físico por medio de un permiso de uso, permitiendo que se utilice su nombre en proyectos y publicaciones de la fundación. En contrapartida, la fundación vincula a las líneas de investigación desarrolladas dentro de la universidad los proyectos contratados por las empresas.
Fundaciones de desarrollo tecnológico	Se constituyen en organismos de intermediación entre la academia y la industria, llenando un espacio entre la investigación aplicada y la producción industrial. Sus atribuciones se centran en: realizar las actividades de desarrollo e ingeniería necesarias para traducir en resultados la investigación aplicada en nuevos productos y procesos; y realizar la producción experimental y la comercialización de bienes y servicios que, por vocación, no competen a la universidad.
Incubadoras de empresas de base tecnológica	Un espacio físico especialmente configurado para transformar ideas en productos, procesos o servicios, con el objetivo de realizar el vínculo entre el mercado y los desarrollos tecnológicos generados en instituciones de educación e investigación (Medeiros <i>et al.</i> , 1992). Normalmente, es una iniciativa conjunta y planeada de instituciones gubernamentales, universidades y empresas privadas, su propuesta central es amparar las nuevas empresas, sean ellas industriales o de servicio, para que los productos originados en las instituciones de investigación puedan alcanzar a los consumidores potenciales.
Parques tecnológicos	Se establecen en un área física delimitada, convenientemente urbanizada, destinada a empresas intensivas en tecnología. Generalmente se localizan próximos a las universidades, ello para aprovechar la capacidad científica y técnica de los investigadores y sus laboratorios. Para las universidades, estos mecanismos representan la oportunidad de obtener financiamiento, mejoras, retroalimentación de las empresas y un campo de actuación para los investigadores
Tecnopolis	La <i>tecnopoli</i> es considerada como la región que busca innovación, transformándola en bienes y servicios. Para eso, utiliza todas las fuentes de innovación y desarrollo disponibles en su extensión. La <i>tecnopoli</i> tiene como función establecer los flujos de conocimiento que virtualmente colocan una ciudad y su región en la práctica de polo de difusión de ciencia y tecnología.
Centros de Investigación Cooperativa	Estructuras empresariales autónomas, radicadas en universidades orientadas principalmente al desarrollo de investigación aplicada a la generación de tecnología de base o pre-competitiva, no propietaria, de uso común y en el interés del conjunto de empresas asociadas. Su operación es financiada, por un cierto periodo, por el gobierno y por empresas de un mismo sector o sectores afines, contribuyendo con tasas de mantenimiento.
Oficinas de Transferencia de tecnología	Son aquellas organizaciones o partes de una organización que ayudan en los centros públicos de investigación a identificar y administrar sus activos intelectuales, incluyendo la protección de la propiedad intelectual y transferencia o licenciando los derechos a terceros, orientando a complementar un desarrollo.

**Fuente:** SOLLEIRO, J. En búsqueda de un sistema de prácticas para la vinculación exitosa de universidades y centros de I+D con el sector productivo (2008). P 9.

### 3.1.1 Las Spin-Off

El Spin-off se entiende como la creación de empresas dentro del seno de otras empresas u organizaciones ya existentes. La gran mayoría de las Spin-off nacen de las universidades o los centros de investigación públicos (a través de procesos de I+D). Estas empresas o entidades de las que surgen hacen la función de incubadora, y sirven de apoyo para el despegue de las Spin-off.

El Spin-Off Universitario y Empresarial es una herramienta moderna que permite la articulación de emprendedores, universidades, centros de investigación, parques tecnológicos, entre otros; la cual mediante la cooperación de entidades tanto públicas como privadas se incentiva la investigación e innovación como motor para la economía nacional y regional, fomentando la creación de empresas de base tecnológica.

Las empresas Spin-Off que surgen de las universidades ayudan a transferir el conocimiento y la investigación científica al mundo empresarial, buscando su aplicación directa en los procesos productivos, incluso su comercialización. Además, mejora la comunicación entre las universidades, el sector empresarial, el mercado y la sociedad. Estas iniciativas ofrecen, además, una posibilidad muy interesante en la creación de empleo para los investigadores. Son una nueva manera de generar empleo estable y una buena alternativa a otras opciones de trabajo para la comunidad científica. Las ventajas más representativas del Spin-Off se pueden resumir en que surgen del proceso de investigación, lo cual representa avance tecnológico y científico, beneficiando a la humanidad de productos innovadores o de valor añadido y a nivel empresarial nacen nuevas relaciones, nuevos modelos de negocio y nuevas formas de invertir.

Según Matkin, G. (1990) existen tres razones fundamentales para que las universidades inviertan en la creación de *spin-offs* como forma de transferencia de resultados de investigación: la transferencia de tecnología, las económicas y las referentes al propio personal de la universidad. La creación de una spin-off puede motivar que un investigador con inquietudes empresariales no abandone la institución. Además, la creación de una spin-off ofrece mayores incentivos económicos a sus inventores comparándola con la licencia de patentes a empresas ya establecidas. Respecto a las económicas, las universidades obtendrán mayores beneficios a través de sus participaciones en el capital social de estas empresas. En relación a la transferencia de tecnología, las spin-offs suelen aumentar los contratos de investigación con las universidades, sobretudo en sus etapas iniciales, ya que estas spin-offs suelen externalizar sus actividades de I+D. Además,

influyen positivamente en investigación y docencia ya que crean oportunidades para la realización de tesis doctorales y proyectos de grado<sup>43</sup>. Se debe tener en cuenta que las spin-offs no solamente benefician a las universidades de donde proceden. Existen varios autores que destacan su contribución a la generación de riqueza en sus zonas de influencia (regiones). Por ejemplo, Clayman, B.; Holbrook, A. (2004) Hindle, K.; Yencken, J. (2004) entre otros, destacan su contribución al desarrollo regional. A pesar de la idea generalizada entre la comunidad científica de que las spin-offs contribuyen al desarrollo regional, existen muy pocos estudios que aporten evidencia empírica. También cabe destacar que las spin-offs universitarias no son vistas exclusivamente como promotoras del desarrollo endógeno sino también como fuentes de empleo<sup>44</sup>, como nexo de unión entre la investigación básica y aplicada o incluso como agentes que favorecen el cambio económico de una región hacia una economía basada en el conocimiento (McQueen y Wallmark, 1991).

En Colombia el término “spin-off” es poco conocido, en diferentes regiones del país se están empezando a gestionar este tipo de empresas, tal es el caso de las universidades del departamento de Antioquia, las cuales tienen como reto sumar un gran número de estas empresas en las diferentes universidades de la región.

De acuerdo con los participantes del foro Generación de Empresas de Base Tecnológica Spin-Off, llevado a cabo en la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) el 21 de mayo del 2008, el reto de la Universidad de Antioquia es sumar 24 spin-off en 2011; las universidades de Medellín y Eafit buscan consolidar 14, cada una; la Pontificia Bolivariana, 10; mientras que la Nacional de Colombia sede Medellín, la Salle y la Escuela de Ingenierías de Antioquia se comprometieron con la creación de 6, 5 y 3, respectivamente.

Las universidades de la región de Antioquia han establecido diferentes parámetros para incentivar la creación de spin-off, entre lo cual se destaca:

- Fomentar la cultura del emprendimiento en los grupos de investigación universitarios.
- Pensar en ideas innovadoras, más allá de pretender constituirse como un grupo de Categoría A de Colciencias.
- La fórmula “idea + proyecto = producto” debe trascender, encontrar mercado y constituirse en empresa. Los grupos de investigación deben tener un acompañamiento de profesionales que conozcan de gestión empresarial.

---

<sup>43</sup> SERASOLS, Cristhian. Transferencia Tecnológica Empresa- Universidad: La nueva misión de las universidades” Mayo 2008 p. 232

<sup>44</sup> PÉREZ, M.; Martínez, A. (2003) “The development of university spin-offs: early dynamics of technology transfer and networking”. *Technovation* 23 (10), pp. 823-831

- Es necesario fomentar los doctorados y movilizar a los profesores para que se conviertan en empresarios de investigación. No basta con ser un excelente investigador.
- Las universidades deben generar garantías para los docentes investigadores.
- La escala de valoración de ascenso de los docentes universitarios debe tener en cuenta los esfuerzos que hacen éstos al crear empresa, y no solo su número de publicaciones en revistas indexadas.
- Es preciso que los grupos de investigación interesados en convertirse en spin-off, amplíen sus perspectivas de financiación, enfocándose especialmente en el sector industrial.

En países como España, la experiencia ha arrojado resultados muy positivos. El proyecto I+D+i del país ibérico cuenta con ocho organismos públicos de investigación, entre los que se destaca el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (Cecif), el cual agrupa más de 100 centros de investigación en los que trabajan alrededor de 3.200 investigadores de tiempo completo.

Pese a estas cifras, la formación de empresas spin-off en España es algo relativamente nuevo. Mientras que en el año 1999 se crearon allí siete de estas empresas, en 2007 nacieron 120. Las razones para este aumento tienen que ver con la creación de Oficinas de Transferencia de los Resultados de la Investigación (OTRIs), donde se ha generado una red que trabaja para fortalecer temas como la transferencia de resultados y las licencias y venta de tecnología. Más adelante se describirá detalladamente la función de la OTRI de la Universidad del Valle.

Otra fortaleza de España en la creación de spin-off tiene que ver con el sistema de transferencia de las universidades. La cual desde los años noventa las universidades españolas empezaron a hacer los estatutos de propiedad intelectual, en comparación con Colombia donde se está trabajando en ello desde hace cinco años. El interés por el emprendimiento empresarial fue también un espaldarazo de las universidades para la creación de spin-off.

La estructura de una normativa clara frente a la creación de estas empresas, fue clave en el alto nivel que ha logrado el país europeo. Sus universidades aprobaron una normativa en el nivel interno que les diera claridad a investigadores y profesores sobre los compromisos y beneficios que adquirirían al comprometerse con la creación de estas empresas.

Esta experiencia que conjuga innovación, universidad y empresa, ha arrojado avances sobre las líneas de altas tecnologías, biotecnología, Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), nanotecnología, medicina, medio ambiente y ecología, y en las ingenierías de materiales, óptica y electrónica.

Existen también, en menor porcentaje, empresas derivadas de ciencias sociales y humanas como la psicología.

### **3.2 Relación Universidad-Sector productivo-Gobierno**

La sociedad formalmente le ha asignado a las universidades y a los centros de investigación la misión casi exclusiva de producción de conocimiento; sin embargo, en la actualidad se tiende a extender su misión a la solución de problemas y demandas del sector empresarial, y de la sociedad en general. Esta ampliación del propósito ha exigido a las universidades una re-conceptualización y reordenamiento organizativo para realizar los procesos de producción, almacenamiento y transferencia del conocimiento, siendo permeados por la lógica del mercado e incorporándole al conocimiento características propias de los productos transables.

La transferencia de tecnología de las universidades hacia las empresas, expresa un proceso evolutivo tanto en las organizaciones como en los países. Las funciones asumidas por la universidad como consecuencia de su mayor compromiso con el desarrollo económico, se expresan principalmente en forma de proyectos tecnológicos en asociación con empresas, de comercialización de los resultados de investigación y de patentamiento de invenciones referidas a productos y procesos y su consecuente licenciamiento. Los derechos de la propiedad industrial son la estructura fundamental para la innovación, para la estimulación de ésta son necesarios políticas nacionales organizadas adecuadamente para perfeccionar los vínculos entre la industria y la ciencia.

Según Raymond y Nichols (1996)<sup>45</sup>, la asociación entre universidades, empresas y gobierno se constituye uno de las mejores alianzas para vincular la tecnología con el desarrollo económico, además se ha comprobado que actualmente el progreso tecnológico es esencial para el desarrollo económico de los países y es por esta razón que las relaciones universidad-empresa son hoy por hoy un tema central<sup>46</sup>.

“Es ampliamente reconocido que son ambos, el *“pull”* del mercado y el *“push”* de la ciencia y de la tecnología, dentro de un ambiente de política pública, los que han caracterizado uno de los arreglos de colaboración más recientes y exitosos” (Raymond y Nichols, 1996, p. 23).

La relación entre universidad-empresa-gobierno tiene como objetivo principal la complementariedad entre éstos, siendo la función de las universidades la producción del conocimiento científico y tecnológico; la de las empresas el

---

<sup>45</sup> RAYMOND, S, y NICHOLS, R. (1996) “Partnerships linking Technology to Economic Growth: Case Experience from around the Globe”. In: Linking Technology to Economic Growth and Development. New York Academy of Sciences. Diciembre 1996.

<sup>46</sup> SOLLEIRO; RITTER DOS SANTOS; ESCALANTE. Op. Cit., p 1

desarrollo de la innovación y de nuevas tecnologías y la del gobierno la regulación y el fomento de esta relación.

Es importante resaltar que llevar a cabo transferencia tecnológica y comercializar la tecnología generada desde las universidades tiene varias ventajas<sup>47</sup>.

1. Permite a los investigadores socializar aún más los dividendos de la investigación científica entre segmentos más amplios de la sociedad.
2. Contribuye al desarrollo de las comunidades en las cuales los investigadores operan.
3. Crea recursos adicionales que pueden ser reinvertidos en la investigación básica y aplicada.
4. Genera oportunidades adicionales de aprendizaje para los estudiantes y de investigación para los investigadores.
5. Crea incentivos para retener académicos en las universidades y evitar su fuga al sector privado o al exterior.

Sin embargo existen varios factores que pueden obstaculizar dicho proceso:

1. Existe una brecha cultural entre la academia y el mercado. Las universidades cambian lentamente, son adversas al riesgo, tienen procesos de toma de decisiones complejos, y se caracterizan por su ética de servicio a la comunidad y de libre intercambio de las ideas. Además, el conocimiento generado por las universidades no siempre responde a la demanda de los actores del mercado.
2. La comercialización de la tecnología pone a los investigadores frente al dilema entre publicar y patentar.
3. El proceso de comercialización puede ser fuente de conflictos de intereses<sup>48</sup>. Este último principalmente por la poca experiencia de las universidades para la valoración y negociación de los resultados de investigación.

En los últimos años se ha evidenciado que el sector productivo ha necesitado conocimientos y técnicas de las universidades para la producción de bienes y servicios. Tal es el caso de Colombia, donde la transferencia tecnológica se ha convertido en una variable importante para los procesos de desarrollo, producción y comercialización de productos y servicios, así como un elemento fundamental de las estrategias empresariales que buscan mantener o mejorar su posición competitiva en los nuevos mercados surgidos por la globalización de la economía.

---

<sup>47</sup> TOGNATO, Carlo. Comercializar la tecnología generada desde las universidades: un reto institucional. Revista de Ingeniería Facultad de Ingeniería Universidad de los Andes. No. 21. Mayo, 2005. p 31

<sup>48</sup> Ibid, p 32

Lo anterior demuestra la necesidad e importancia de vincular la actividad científica y tecnológica de las universidades y centros de investigación en forma más estrecha con la industria, para poder satisfacer sus requerimientos de servicios, de investigación y desarrollo, así como de educación continua, y de esta forma enfrentar las demandas de los mercados presentes y futuros con mejores perspectivas de éxito.

Un elemento importante de la transferencia tecnológica es que la comercialización de la propiedad intelectual generada a través de las actividades de investigación desarrolladas en la universidad es una oportunidad de crecimiento que aún no ha sido explotada. La comunicación y retroalimentación fluida entre empresa y universidad no se ha desarrollado de la mejor manera, y menos con la universidad pública. Varios autores argumentan que prevenciones, prejuicios e intereses de corto plazo podrían ser las explicaciones parciales de su incomunicación y limitados intercambios. Las empresas ven a las universidades lentas, fluyendo en el mundo de las teorías y poco pertinentes y prácticas, para dar respuestas innovadoras a sus muy particulares demandas<sup>49</sup>.

La universidad, del otro lado, se concentra en el largo plazo (lo estratégico), y es por esto que no existe un vínculo tan marcado que permita una aproximación más fructífera en el campo de las aplicaciones productivas. La prisa y la visión estrictamente técnico-productiva de los problemas que enfrentan las empresas, atentan contra una visión más integral del mundo de la academia, de la misma producción y del país en un marco de modelo de desarrollo que unos y otros con nuestras acciones u omisiones contribuimos a moldear. Igualmente la empresa y el mismo Estado deben cuantificar el apoyo en I+D como una inversión y no como un gasto<sup>50</sup>. Teniendo en cuenta estos errores, la universidad, para ser realmente pertinente no puede restringirse a la realización de tareas específicas, para resolver problemas locales; ella debe atender al fortalecimiento de las competencias académicas que en el mediano y largo plazo requiere el país.<sup>51</sup>

---

<sup>49</sup> CORTÉS M., Elkin Alonso. La gestión y transferencia tecnológica cruce de caminos entre universidad- empresa. p 1

<sup>50</sup> Ibid, p 1

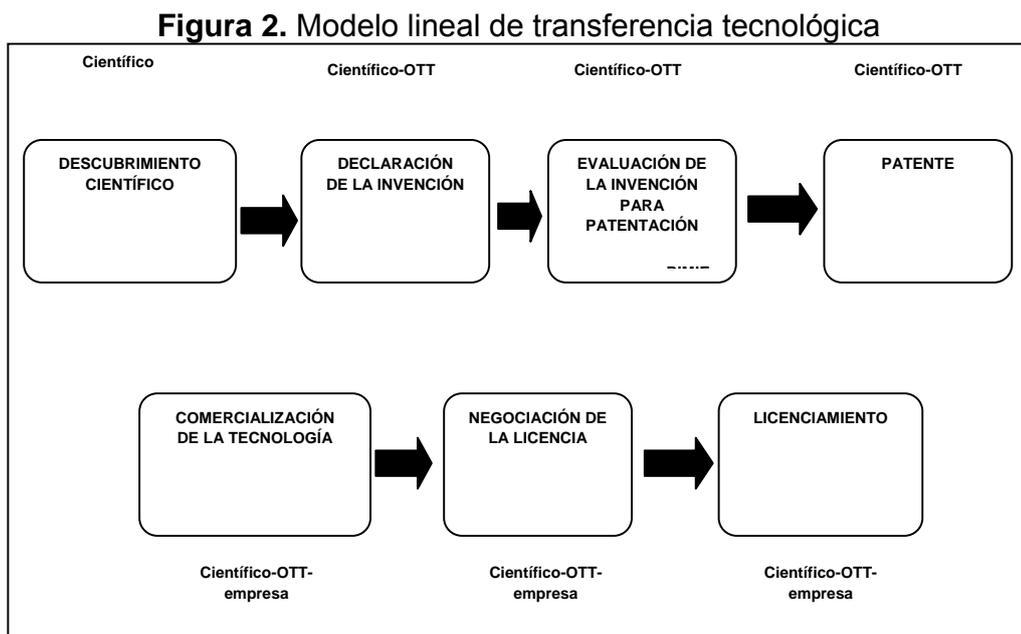
<sup>51</sup> Ibid, p 1

### 3.2 1 Modelos de transferencia tecnológica<sup>52</sup>

#### 1) Modelo Lineal

Bajo este modelo la transferencia tecnológica de una universidad a una empresa, es entendida como un proceso conformado por una secuencia lineal de etapas. El modelo comienza con un descubrimiento de un científico en un laboratorio, que está trabajando con recursos de investigación públicos. Si bien el modelo lineal es una primera aproximación a los modelos de transferencia de tecnología, se debe tener en cuenta la dinámica de la investigación científica y tecnológica actual propia de las universidades. Este no es el más indicado ya que la investigación no se desarrolla con base a alguna problemática o necesidad de parte del sector industrial y por lo tanto es un sistema *push* en donde la invención se empuja a un mercado sin tener en cuenta si existe uno para la invención.

La figura 2 relaciona las diferentes etapas que comprenden el desarrollo de un modelo lineal:



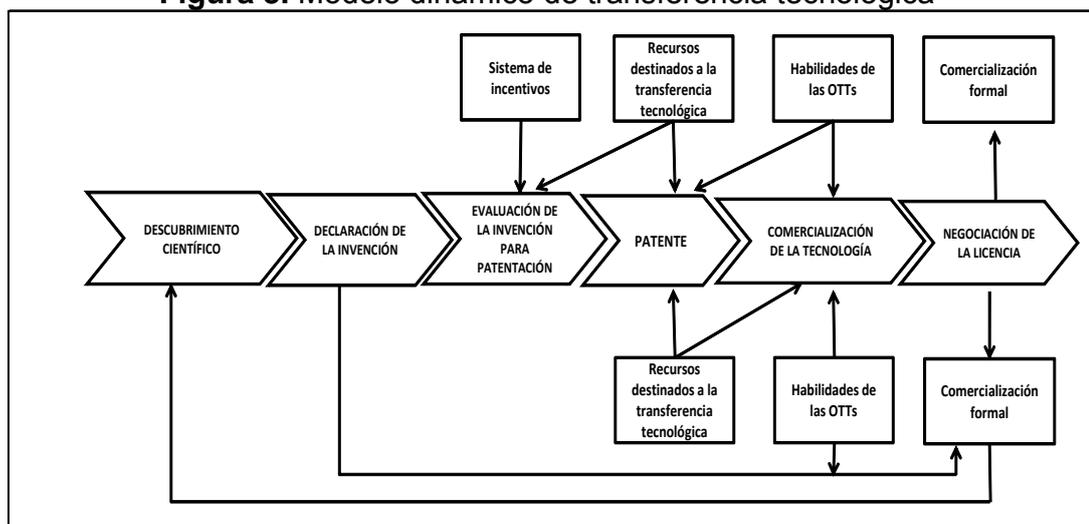
Fuente: Datos de la referencia 41

<sup>52</sup> LÓPEZ G., María del Socorro; MEJÍA C., Juan Carlos; SCHMAL S., Rodolfo. Un Acercamiento al Concepto de la Transferencia de Tecnología en las Universidades y sus Diferentes Manifestaciones. En: Panorama Socioeconómico Año 24, No. 32. 2006. p 70-81.

## 2) Modelo Dinámico

Este modelo tiene como fin la transferencia tecnológica a través de la comercialización o la difusión, sean estas formales o informales. Para este modelo se requiere una organización que contemple recursos de personal y tecnológicos, destinados a dicha transferencia, así como sistemas de compensación, incentivos y programas de capacitación para el desarrollo de habilidades para la comercialización de la transferencia de tecnologías. Las diferentes etapas de la invención realizadas por las universidades hasta llegar a las empresas pueden representar ingresos para la Universidad, dependiendo de las políticas y recursos que la misma haya dispuesto para la transferencia tecnológica. La interacción de todos estos elementos configura la capacidad para patentar y comercializar la tecnología, así como de negociar las licencias. Se puede observar en la figura 3 que este modelo contempla tanto los procesos formales como informales de transferencia, además de identificar los factores determinantes de éxito en el proceso de transferencia, que tienden a omitirse.

**Figura 3.** Modelo dinámico de transferencia tecnológica



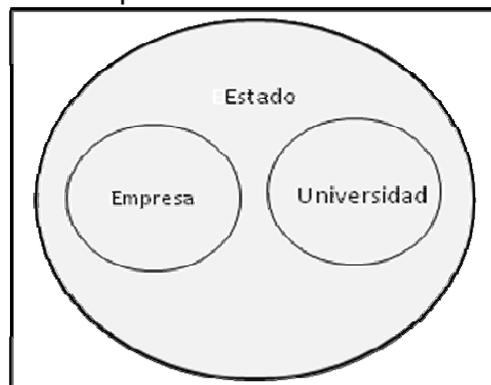
**Fuente:** Datos de la referencia 41

## 3) Modelo Triple Hélice I

Entre los actores participantes en el proceso de transferencia tecnológica bajo este modelo, a nivel institucional, destaca la unión entre la Universidad-Empresa- Estado. El Estado acompaña el comportamiento de las universidades y empresas dirigiendo las relaciones entre ellas, colaborando así a mejorar y facilitar las relaciones de las universidades con el sector productivo teniendo un papel preponderante en este modelo.

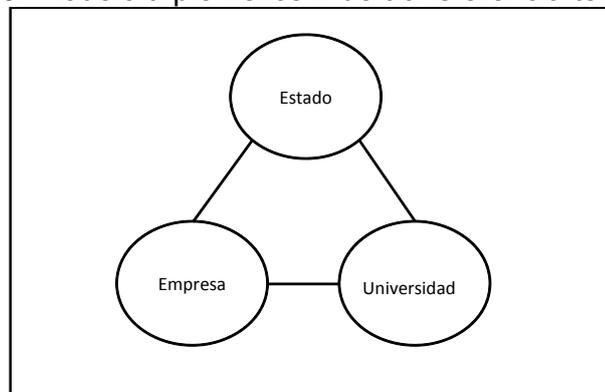
En la actualidad el modelo de triple hélice es el que está siendo utilizado por las diferentes universidades líderes en proyectos de innovación y transferencia de tecnología, tales como la Universidad de California y la de Turin entre otras. A través del tiempo este modelo ha sido modificado, al modelo triple hélice II (figura 5), en el cual las instituciones se visualizan como unidades, en el cual tienen objetivos claros los cuales se relacionan con los demás elementos del modelo. La figura 4 relaciona la universidad con los demás elementos del modelo.

**Figura 4.** Modelo triple hélice I de transferencia tecnológica



**Fuente:** Datos de la referencia 41

**Figura 5.** Modelo triple hélice II de transferencia tecnológica

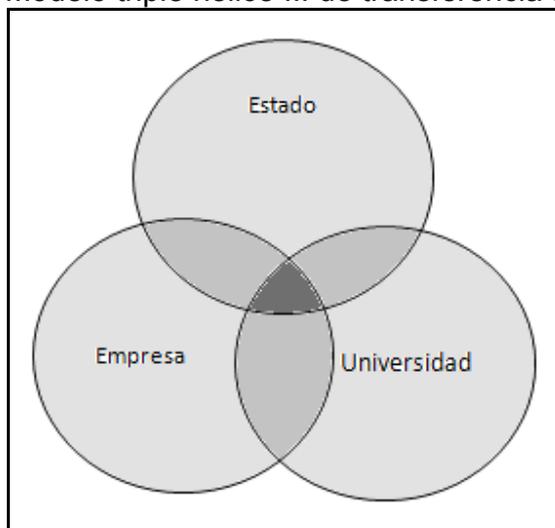


**Fuente:** Datos de la referencia 41

Posteriormente surge una tercera versión, modelo triple hélice III, bajo la cual las instituciones además de realizar las funciones que les son propias, también asumen funciones de las otras (figura 6). Es el caso de universidades que crean empresas o que asumen roles comúnmente asociados al gobierno, como organizar el desarrollo regional; también es el caso de aquellas empresas que cuentan con laboratorios de investigación y desarrollo destinados a crear nuevos conocimientos. La aparición de instituciones intermedias, como agencias, pequeñas empresas u oficinas de transferencia tecnológica que no se sitúan en ninguna de las 3 esferas

mencionadas –Universidad, empresa, Estado- pero cumplen más de una de sus funciones específicas dan cuenta de una nueva realidad.

**Figura 6.** Modelo triple hélice III de transferencia tecnológica



**Fuente:** Datos de la referencia 41

Esta última versión del modelo triple hélice recoge las funciones y relaciones de los actores del modelo y cómo éstas van desarrollando las actividades de cada uno, tal es el caso de las universidades que crean empresas, unidades de investigación y desarrollo, el Estado crea instituciones públicas de investigación, etc.

#### 4) Modelo Catch Up

Este es un modelo de transferencia tecnológica basado en la imitación y captación de tecnología creada por un tercero, esquema que ha sido empleado activamente en Corea y Japón, países que han basado su desarrollo en la captación e imitación de tecnologías de terceros. Kim (2000) explica el proceso dinámico del aprendizaje tecnológico en la industrialización exponiendo el caso de Corea, la cual en cuarenta años pasó de una economía de subsistencia agraria a competir en la industria tecnológica de punta, tales como tecnologías de información y semiconductores, pasando por la industria de automóviles y la electrónica.

El modelo *catch up* se concibió como una estrategia de innovación tecnológica, que en un principio fue la estrategia de la imitación. Sin embargo, el salto cualitativo que tanto Japón como Corea lograron dar a partir de esta estrategia, explican la inclusión de esta estrategia como un modelo de transferencia tecnológica. La observación, la apropiación de las tecnologías, la mejora de ellas, hasta producir nuevas tecnologías y productos de utilidad, y por ello ampliamente comercializados en los mercados mundiales, lo cual fue un ejemplo de gestión empresarial y de

transferencia tecnológica, basada en la innovación, pues son pocos los eventos de intercambio científico y tecnológico donde no se expongan casos de los países asiáticos.

### **3.3 Proceso de Transferencia de Resultados de Investigación de la Universidad del Valle**

La Universidad del Valle es una de las principales del país y la primera en el Sur Occidente Colombiano, con cerca de 200 grupos de investigación, que le permite tener una excelente capacidad de oferta de investigación. Por esta razón, en su plan de desarrollo institucional ha asumido un serio compromiso con el desarrollo socioeconómico y cultural de la región.

La capacidad de investigación de la universidad, representada en sus grupos y laboratorios, debe estar claramente al servicio de la sociedad en su conjunto, y en particular, del sector productivo público y privado. Con este objetivo, la política de una *universidad fundamentada en la investigación* se orienta cada vez más hacia la búsqueda de una mayor relación de sus actividades de I+D con las necesidades de su entorno, y la introducción de cambios en su estructura organizativa y de gestión que permitan un flujo adecuado de comunicación y acción entre ambas partes.

Es importante resaltar que normalmente el investigador tiene como objetivo principal la realización de la investigación científica y tecnológica, sin tener en cuenta la posibilidad de su comercialización, por esta razón se deben crear mecanismos institucionales que faciliten esta tarea.

#### **3.3.1 Oficina de transferencia de resultados de investigación de la Universidad del Valle<sup>53</sup>**

La Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI), tiene como objetivo potenciar y difundir el papel de la Universidad del Valle como elemento esencial del sistema de innovación; colaborando en la definición de mecanismos y procedimientos que favorezcan la vinculación universidad-empresa, potenciando su desarrollo y profesionalización como dependencia que promocióne y gestione la oferta tecnológica, potenciando el funcionamiento en red, desarrollando acciones, instrumentos y servicios de interés común, y favoreciendo la movilización del personal entre la industria y los grupos de investigación.

---

<sup>53</sup> Guerrero, Patricia. (2009). La OTRI, vinculando a la Universidad con su entorno. *Boletín informativo de Gestión de Conocimiento en el sur occidente colombiano*.

Como política institucional de transferencia debe generar los mecanismos que faciliten una adecuada y eficiente relación con el sector productivo, público y privado, y con la sociedad, de manera que su estructura administrativa, académica, jurídica y económica, pueda responder a las demandas de su entorno.

Para ello la OTRI se ha planteado dos escenarios de actuación: El primero al interior de la Universidad, y el segundo en la Región. En este último actúa liderando, desde hace tres años, la Red de Universidades por la Innovación en el Valle del Cauca, RUIV, con el objetivo de fomentar, facilitar y promover la innovación en la región, procurando ampliar y consolidar las relaciones universidad-empresa-estado; construyendo confianza y trabajo colaborativo con el propósito de brindar soporte visible a las actividades de transferencia de tecnología y fomento a la innovación, que contribuyan al desarrollo económico de la región.

En el mismo sentido, participa activamente en el Comité Universidad, Empresa, Estado, del Valle del Cauca – CUEEV, como instancia que desarrolla actividades estratégicas enmarcadas en un proyecto que tiene como objetivo el desarrollo de la región, a través del fortalecimiento de la investigación en las universidades, la competitividad de la región y de sus empresas.

Los resultados de la OTRI, obtenidos a través de la Red Universitaria para la Innovación en el Valle - RUIV y el Comité Universidad Empresa Estado Valle del Cauca - CUEEV, han sido de gran significado para la región. Muestra de ello es el Fondo de Innovación del Valle del Cauca, que ha financiado proyectos de innovación y desarrollo tecnológico por un monto de mil cien millones de pesos (\$ 1.100.000.000); la Primera Rueda de Negocios, donde se realizaron 355 citas, entre investigadores y empresarios, y se concretaron cerca de 20 proyectos con la participación de las empresas. De la Universidad del Valle participaron 28 grupos de investigación y se lograron proponer 10 proyectos para ser presentados a convocatorias de cofinanciación de Colciencias, Sena y otros con financiación directa de las empresas. Igualmente ha gestionado y obtenido recursos, durante los últimos 3 años, del Ministerio de Educación Nacional- MEN, para el fortalecimiento del CUEEV.

A nivel interno, la OTRI ha apoyado decididamente la consolidación del proyecto de Gestión de Conocimiento, a cargo de la profesora Gladys Rincón del Grupo de Gestión Tecnológica (GIT), y a el curso de Formación de Alto Nivel en Gestión Estratégica de la Innovación (FANGEI); ha conformado un grupo de valoración de conocimiento y se trabaja en el comité de Propiedad Intelectual (PI), para fortalecer la normatividad en este aspecto.

Lo anterior demuestra que la existencia de un mecanismo de transferencia, facilita una adecuada y eficiente relación con el sector productivo y con la sociedad, y se satisfacen las necesidades que demanda un mercado cada vez más cambiante, promoviendo el desarrollo económico de la región y del país.

## 4. MÉTODOS PARA LA VALORACIÓN ECONÓMICA DE TECNOLOGÍAS

### 4.1 Introducción

Un aspecto clave en la transferencia de tecnologías por parte de las universidades al sector productivo, es una apropiada valoración económica de los nuevos conocimientos generados, con la cual se busca asegurar un impacto positivo en el continuo desarrollo de las empresas de la región y de las actividades científicas y tecnológicas desarrolladas dentro de las universidades, retribuyendo los beneficios obtenidos de estas transferencias a nuevas investigaciones y recursos que aseguren las actividades científicas y tecnológicas del país.

En la actualidad las organizaciones deben encontrar proyectos de inversión cuya rentabilidad supere al costo de llevarlos a cabo, es decir, proyectos que aporten valor. El principal problema, dejando a un lado el de la determinación del costo de oportunidad del capital del proyecto, es el de la valoración del activo que se creará al realizar la inversión (una fábrica, una nueva unidad de negocio, un laboratorio, etcétera).

Se debe tener en cuenta que el análisis de proyectos de inversión forma parte del presupuesto de capital de la organización la cual tiene como objetivo principal maximizar el valor de ésta, para ello se deben responder a dos preguntas<sup>54</sup>:

- a) ¿Qué proyectos hay que elegir entre las diversas alternativas excluyentes?
- b) ¿Cuántos proyectos deberán ser aceptados?

Cuando varios proyectos de inversión son sometidos a varios criterios de valoración, se logra observar cuatro características que son primordiales para poder obtener una solución adecuada, las cuales son<sup>55</sup>:

1. Se debe tener en cuenta todos los flujos de caja de la inversión.
2. Descontar los flujos de caja al costo de oportunidad del capital apropiado, el cual es establecido por el mercado.
3. Seleccionar el proyecto que maximice la riqueza de los accionistas.
4. Permitir a los directivos considerar cada proyecto independientemente de los demás. A esto se le denomina *principio de aditividad del valor*.<sup>56</sup>

---

<sup>54</sup> MASCAREÑAS Juan; La valoración de proyectos de inversión productivos Universidad complutense de Madrid Septiembre 2001 p. 5

<sup>55</sup> Ibid., p. 6

<sup>56</sup> Se obtiene al sumar el valor de todas las inversiones acometidas por la empresa

John Graham y Cambell Harvey<sup>57</sup> realizaron en el año 2001 un estudio del uso de las diferentes técnicas y modelos enunciados en la “teoría financiera de la empresa” por parte de 392 directivos de un amplio espectro de empresas norteamericanas, en el cual se lograron sacar las siguientes conclusiones: “las grandes empresas confían firmemente en las técnicas de valor actual y en el modelo de valoración de activos de capital mientras que las empresas pequeñas están relativamente a gusto utilizando el criterio del plazo de recuperación.

Los resultados de este estudio se pueden observar mejor en el siguiente cuadro, que ejemplifica las técnicas y modelos más usados por las diferentes empresas para la valoración de proyectos de inversión:

**Tabla 2.** Frecuencia de utilización por parte de las empresas analizadas de los diversos métodos de valoración de proyectos de inversión.

MÉTODOS	UTILIZACIÓN
Tasa interna de rendimiento (TIR)	75,61%
Valor actual neto (VAN)	74,93%
Tasa de rendimiento requerida	56,94%
Plazo de recuperación	56,74%
Análisis de sensibilidad	51,54%
Múltiplo de beneficios	38,92%
Plazo de recuperación descontado	29,45%
Opciones reales	26,59%
Tasa de rendimiento contable	20,29%
Simulación/Valor en riesgo (VAR)	13,66%
Índice de rentabilidad	11,87%
Valor actual ajustado	10,78%

**Fuente:** Juan Mascareñas (2001)

Analizando la tabla anterior se logra observar que el criterio de la tasa interna de rendimiento y el del valor actual neto, son los más usados. Sin embargo utilizar estos métodos asumiendo datos determinísticos ha llevado a una gran cantidad de empresas a perder sus inversiones ya que no cuentan con una información suficientemente verídica para poder hacer sus proyecciones.

Teniendo en cuenta que los resultados de los proyectos de investigación provenientes de las universidades y centros de investigación públicos o privados, no están completamente probados en el mercado, como suele suceder con las tecnologías de proceso, que por lo general están en pruebas piloto, los modelos de valoración más adecuados son aquellos que contemplan la simulación.

<sup>57</sup> GRAHAM, J.; HARVEY, C.: "The theory and practice of corporate finance: evidence from the field ". *Journal of Financial Economics*. No. 60. 2001. P: 187-243

Estos proyectos también son adecuados para analizarse por opciones reales, ya que por sus características se hacen por etapas, donde en cualquiera de ellas se puede tomar la decisión de continuar o no con la investigación. También los resultados parciales o finales pueden llegar a servir para más de un proceso productivo y esto se podría tener en cuenta como opciones de expansión.

## 4.2 Valoración de la tecnología

La tecnología puede considerarse intangible ya que no es visible, normalmente está incorporada en el conocimiento humano o en activos físicos y por lo tanto es difícil identificar el contenido exacto y su alcance. El valor económico de éstas se ve afectado por diversos factores no técnicos y por su comercialización en el mercado, por lo tanto, cuantificar de manera exacta el vínculo entre la investigación tecnológica y los beneficios comerciales es una tarea difícil.

La demanda social para la valoración tecnológica ha crecido rápidamente, dado que la globalización ha acelerado las actividades de I+D dentro de las organizaciones, las cuales buscan no sólo resolver los desafíos tecnológicos sino encontrar nuevos mercados en donde aplicarlos. En respuesta, se han desarrollado y utilizado varios métodos de valoración. Las herramientas más comunes incluyen los descuentos de flujos de caja (DFC), las opciones reales y árboles de decisión probabilísticos<sup>58</sup>.

La transferencia de nuevas tecnologías, no solo proporciona un futuro incierto, sino que también sigue un plan de negocio que es flexible y está sujeto a posibles cambios dependiendo de su aplicación. El método de las opciones reales se utiliza para la valoración de tecnologías en su fase inicial, ya que permite capturar y evaluar la flexibilidad de los directivos para ajustar su estrategia a las modificaciones del incierto entorno en el que se encuentra la tecnología.

La tecnología de proceso que se está desarrollando aún se encuentra en la etapa de investigación y desarrollo, se están buscando recursos para la construcción de una planta piloto, por lo tanto existe mucha incertidumbre y no se tienen datos concretos de los costos en que se incurriría para su adaptación a nivel industrial. La valoración de esta tecnología se basa en calcular los posibles ahorros futuros que la empresa obtendrá por su aplicación al proceso.

---

<sup>58</sup> HOLMES Jr, Joseph S. Social and economic valuation of technology-transfer deals. Science Direct. En: Acta Astronáutica, Volume 65, Issues5-6, September-October 2009. Available online May 8 2009.

A continuación se describirán un poco más los distintos métodos para la valoración de proyectos de inversión.

#### 4.2.1 Métodos tradicionales para la valoración económica<sup>59</sup>

##### 4.2.1.1 Valor Presente Neto de los Flujos de Caja Descontado

El VPN es uno de los criterios más comúnmente empleado para valorar proyectos, su ecuación general es la siguiente:

$$VPN = -I_0 + \sum_{j=1}^{j=n} \frac{FC_j}{(1+k)^j}$$

En donde:

$I$  = Inversión Inicial del proyecto,

$FC_j$  = Flujos de Caja del periodo  $j$

$n$  = Horizonte del proyecto y

$k$  = Tasa de descuento apropiada al riesgo del proyecto.

Con este método el proyecto se considera factible cuando el VPN es positivo, es decir si todos los flujos de caja proyectados, descontados a una tasa apropiada al riesgo del proyecto, supera el costo de realizarlo.

El Flujo de caja se deriva de supuestos específicos acerca de los ingresos y de los costos, pero se limita a hacer una predicción de valores individuales de las variables claves, lo cual lleva a concluir que el resultado que se obtiene es muy subjetivo. Además las reglas de decisión pueden llevar a determinaciones erróneas en contextos de alta incertidumbre, teniendo en cuenta que el VPN no permite captar el valor de opciones asociadas, o de decisiones eventuales<sup>60</sup>.

Este método evalúa las decisiones de inversión que no admiten demora (invertir ahora o nunca), por lo tanto no se considera apropiado para proyectos que implican flexibilidad a lo largo de sus etapas como es el caso de los proyectos de I+D, que se caracterizan por la incertidumbre de los resultados y por lo tanto debe existir la opción de invertir ahora o más adelante o no hacerlo<sup>61</sup>.

---

<sup>59</sup> Pabón R, Anabella. Valoración de proyectos de I+D con opciones reales: Aplicación en un caso hipotético. Tesis de Maestría. 2007.

<sup>60</sup> LÓPEZ Dumrauf, Guillermo. Finanzas Corporativas. Grupo Guía. Buenos Aires, Argentina. 2003

<sup>61</sup> Ibid.

#### **4.2.1.2 Análisis de Sensibilidad**

Este análisis contempla la forma de incorporar la incertidumbre del retorno del proyecto, se identifican las variables críticas de éste, las cuales determinan el éxito o fracaso del mismo.

A través del análisis de sensibilidad se examina por separado los cambios de una variable sobre el VPN del proyecto, manteniendo constante todas las demás variables, y de esta forma se observa qué tan sensible es el proyecto a esta variable. Si el VPN experimenta un cambio grande para cambios relativamente pequeños de esa variable, se deduce que existe un alto riesgo del proyecto relacionado con esta variable.

Existen algunas limitaciones en esta metodología que hace que este análisis sea incompleto para la toma de decisiones. Una de éstas es que el riesgo individual de un proyecto no depende de la sensibilidad del VPN a los cambios en los valores de una variable, sino que depende del rango de valores probables que estas variables reflejen en sus distribuciones de probabilidad y las interrelaciones que se puede presentar entre ellas.

#### **4.2.1.3 Análisis de Escenarios**

A diferencia del análisis de sensibilidad, el análisis de escenarios considera tanto la sensibilidad del VPN con respecto a los cambios en las variables fundamentales del proyecto, como el rango probable de valores variables.

Generalmente se utilizan tres tipos de escenarios: uno pesimista, uno optimista y el más probable. Los flujos de caja de cada escenario se descuentan a una tasa mínima de retorno, establecida por los inversionistas del proyecto. Si el VPN promedio de los escenarios es positivo, el proyecto es viable.

Se estima las posibles combinaciones de variables que pueden presentarse y su posible impacto en el proyecto. De igual manera, al nivel macroeconómico, se debe proveer un conjunto de estimaciones sobre las variables relevantes y determinar escenarios probables como cantidad demandada para un determinado precio de venta, costos fijos y variables para determinados rangos de producción, tasas de interés, efectos de una devaluación sobre los costos internos y los precios, etc.

La cantidad de escenarios que se podrían elaborar son ilimitados y entre mayor cantidad se haga mejor será la estimación del VPN del proyecto. Aunque permite tener un valor que resulta más probable, sigue teniendo falencias relacionadas con la subjetividad, ya que se trabaja con valores individuales probables y no con un rango de posibilidades, además el hecho que tenga diferentes escenarios no implica que estos permitan tomar

decisiones contingentes sino que las decisiones se mantienen fijas en cada uno, no permitiendo captar el valor de opciones asociadas al proyecto.

#### **4.2.2 Métodos no tradicionales para la valoración económica<sup>62</sup>**

##### **4.2.2.1 Simulación Monte Carlo**

Bajo el nombre de *Método Monte Carlo* o *Simulación Monte Carlo* se agrupan una serie de procedimientos que analizan distribuciones de variables aleatorias usando simulación de números aleatorios.

Básicamente, la herramienta asigna a cada una de las variables inciertas del modelo ya no un único valor, sino un rango de valores y la probabilidad de que tome cada uno de estos valores (distribución)<sup>63</sup>.

“El Método Monte Carlo es un método numérico que permite resolver problemas matemáticos mediante la simulación de variables aleatorias”<sup>64</sup>

Este método fue llamado así por el principado de Mónaco por ser “la capital del juego de azar”, al tomar una ruleta como un generador simple de números aleatorios. El nombre y el desarrollo sistemático de los métodos de Monte Carlo datan aproximadamente de 1944 con el desarrollo de la computadora. Sin embargo hay varias instancias (aisladas y no desarrolladas) en muchas ocasiones anteriores a 1944.

El uso real de los métodos de Monte Carlo como una herramienta de investigación, proviene del trabajo de la bomba atómica durante la Segunda Guerra Mundial. Este trabajo involucraba la simulación directa de problemas probabilísticos de hidrodinámica concernientes a la difusión de neutrones aleatorios en material de fusión.

Aún en la primera etapa de estas investigaciones, John Von Neumann y Stanislaw Ulam refinaron esta curiosa “Ruleta rusa” y los métodos “de división”. Sin embargo, el desarrollo sistemático de estas ideas tuvo que esperar el trabajo de Harris y Herman Kahn en 1948.

El Método de Monte Carlo da solución a una gran variedad de problemas matemáticos haciendo experimentos con muestreos estadísticos en una computadora. El método es aplicable a cualquier tipo de problema, ya sea estocástico o determinístico.

---

<sup>62</sup> PABÓN. Op. Cit.

<sup>63</sup> VARELA, Jose. La simulación de Monte Carlo y la Gestión de la Incertidumbre en Proyectos de Inversión. Escuela de dirección de empresas

<sup>64</sup> SÓBOL, I. Lecciones Populares de Matemáticas: Método Monte Carlo. 2 ed. URSS: Editorial Mir, 1976. p. 115.

Como regla del método, se diseña un programa que genere una prueba aleatoria; luego, este experimento se repite  $n$  veces (simulación) de tal forma que cada experimento sea independiente de sus antecesores; finalmente, se toma la media de los resultados de todos los experimentos y se concluye a partir de ésta. El error estadístico del resultado es proporcional a la magnitud:  $\sqrt{D/N}$ . Siendo  $D$  una constante y  $N$  el número de pruebas realizadas, si se pretende reducir el tamaño del error en 10 veces, se requiere aumentar el tamaño de  $N$  en 100 veces. En un caso concreto, no es posible determinar el valor exacto que tomarían las variables aleatorias que alimentan cada una de las pruebas del modelo; sin embargo, si se deben conocer las probabilidades de que las variables tomen estos valores.<sup>65</sup>

En la simulación Monte Carlo una vez definido el modelo (en general mediante una planilla de cálculos), la herramienta de simulación Monte Carlo se encarga de asignar aleatoriamente el valor a cada una de las variables definidas como inciertas (dentro del rango especificado para cada una) y recalcular el valor actual neto para cada conjunto de valores de todas las variables<sup>66</sup>.

De esta forma, la metodología de Monte Carlo permite conocer si el proyecto es rentable (VAN positivo) y también conocer en mayor profundidad los riesgos asociados al proyecto. Así, puede saberse la probabilidad de que el proyecto sea más rentable de lo esperado, los escenarios donde el proyecto producirá pérdidas, el monto máximo de las mismas y su probabilidad de ocurrencia.

Para poder implementar la simulación Monte Carlo en la valoración de un proyecto de inversión, es necesario proceder de la siguiente manera<sup>67</sup>:

- Determinar el problema a estudiar, identificar los riesgos asociados y diseñar un modelo que represente el problema (generalmente el flujo de caja para el caso de un proyecto de inversión) y que considere el punto de vista y los indicadores cuantitativos que requiere analizar el decisor o administrador financiero<sup>68</sup>.
- Recolectar la información necesaria para alimentar el modelo. Posibles fuentes: datos históricos, opinión de expertos, información de mercado.

---

<sup>65</sup> Ibid., p 115

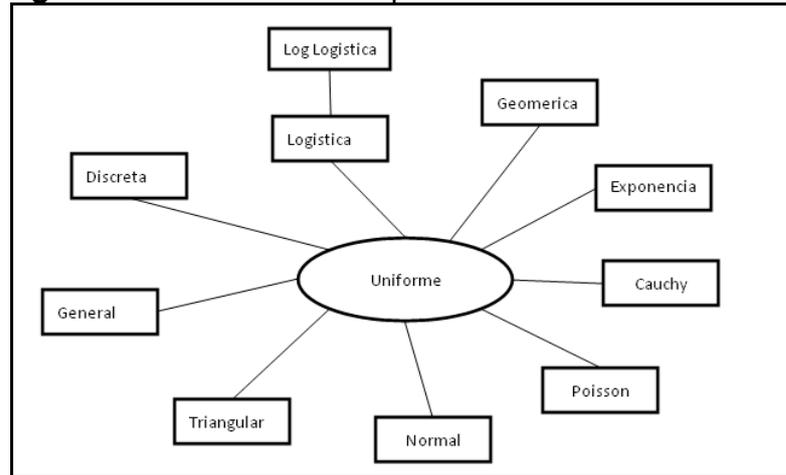
<sup>66</sup> VARELA, Jose. La simulación de Monte Carlo y la gestión de la incertidumbre en proyectos de inversión. Escuela de dirección de empresas

<sup>67</sup> RUÍZ A., Daniel. Identificación y análisis de los mecanismos de financiación para proyectos cinematográficos en Colombia; 2008 p. 36

<sup>68</sup> VOSE, David. En: Model Assist for Crystal Ball. [SOFTWARE]. Risk Thinking, Ltd. Versión 2005. Russia : Vose Software, 2005 [referenciado el 20 de mayo de 2008], Chapter Model Design, Subchapter Introduction, Paragraph 2. Disponible para descarga en Internet: [http://www.vosesoftware.com/install\\_modelassist\\_cb.htm](http://www.vosesoftware.com/install_modelassist_cb.htm).

- Identificar las variables de entrada principales del modelo (en muchos casos ingresos y costos del proyecto) y establecer sus distribuciones de probabilidad; identificar las correlaciones entre las variables (si las hay)<sup>69</sup>. Las más comunes distribuciones de probabilidad que suelen utilizarse se presentan en la figura 7.

**Figura 7.** Distribuciones de probabilidad más comunes a simular



**Fuente:** Adaptado de Guía Monte Carlo. Generadores de número aleatorios. 2005

- Determinar la o las variables de salida (resultados) del modelo que en algunos casos puede ser únicamente el Valor Presente Neto.
- Generar pruebas aleatorias (simular) en las que las variables de entrada tomen diferentes valores siguiendo las distribuciones estipuladas, capturar los N valores que tomen las variables de salida en las pruebas y construir un histograma en el que se muestre la frecuencia y la probabilidad de que cada variable asuma los valores capturados, acompañar el análisis de las variables de salida con indicadores estadísticos como la media, la varianza, la desviación estándar, el coeficiente de variación, entre otros; y finalmente, encontrar la distribución de probabilidad que más se ajuste a cada una de las variables de salida e interpretar los resultados.
- Validar los resultados y modificar el modelo o ajustar la información si es necesario.
- Presentar un informe de resultados en el que se describa el modelo con sus supuestos, variables de entrada y salida, análisis de riesgos, recomendaciones y sugerencias que permitan soportar la toma de decisiones por parte del administrador financiero.

<sup>69</sup> BREALEY, Richard; MYERS, Stewart y FRANKILN, Allen, Op. Cit., p. 277.

Para el desarrollo de la simulación por el método Monte Carlo existen diferentes software especializados en esta simulación entre los cuales se destacan *Crystal Ball*® marca de *Oracle*®, *@Risk*® marca de *Palisade Corporation*, *ModelRisk*® marca de la compañía *Vose Software*® y *Risk Simulator*® marca de la compañía *Real Options Valuation*®.

La implementación del Método Monte Carlo con la ayuda de un programa como *Crystal Ball*® facilita el desarrollo de la simulación, a través de herramientas gráficas que permiten visualizar las variables de ingreso, y los resultados como pronósticos y análisis de sensibilidad, acompañados por cuadros con información estadística.

#### **4.2.2.2 Opciones Reales**

Este término fue acuñado por Stewart Myers profesor de la Escuela de Negocios MIT<sup>70</sup> en 1984 para definir la brecha existente entre el planeamiento estratégico y las finanzas y se considera como un avance sobre las herramientas de análisis tradicionales, porque permite obtener el valor real de un proyecto, es decir, el que le otorga el mercado de valores, ya que se alinea con los mismos usando las herramientas que proveen las finanzas para hacer esta evaluación. Una primera y simple definición de opciones reales es la de una herramienta para la valuación de proyectos de inversión utilizando para ese fin los modelos desarrollados para la valuación de opciones financieras<sup>71</sup>.

La teoría de opciones reales incorpora la teoría de opciones financieras para valorar activos reales (proyectos de inversión), permitiendo valorar la flexibilidad operativa de un proyecto ante posibles cambios en escenarios futuros; es decir, asume el carácter dinámico y continuo a través del ciclo de vida del proyecto. La flexibilidad operativa está determinada por las opciones reales que presenta un proyecto durante su desarrollo. Estas opciones son acciones que pueden ser tomadas al resolverse en el futuro incertidumbres que se presentan en la actualidad. Las opciones son modeladas y valoradas por el método de opciones reales, lo cual finalmente agrega valor al proyecto<sup>72</sup>.

De esta forma, la técnica de opciones reales muestra que el valor de un proyecto de inversión no radica únicamente en los flujos de caja directamente atribuidos al proyecto, sino también de las oportunidades con que cuenta para responder ante la incertidumbre.

---

<sup>70</sup> Massachusset Institute of Technology

<sup>71</sup> Macareña, G. Análisis de la incorporación de flexibilidad en la evaluación de proyectos de inversión utilizando opciones reales y descuentos de flujo dinámico. Horizontes empresariales. p44

<sup>72</sup> GUAJARDO T., Martín; AGUILERA V., Rosa; ANDALAF C., Alejandro. Evaluación socioeconómica de proyectos con el método de Opciones reales. En: Revista Ingeniera Industrial Año 7 No. 2 Segundo Semestre 2008.

Las opciones otorgan, en general, el derecho de comprar o vender un activo, pero no la obligación, pagando una cierta cantidad de dinero en un momento determinado. Hay dos tipos básicos de opciones: las opciones compra (*call options*) y las opciones de venta (*put options*). Una opción de compra otorga a su propietario el derecho a comprar un activo determinado en una fecha determinada, a un precio especificado. El precio especificado en el contrato se conoce como precio de ejercicio. La opción de venta da al propietario el derecho de vender un activo determinado en una fecha determinada a un precio especificado. Si la opción puede ejercerse solo al vencimiento se dice que es una opción europea, si puede ejercerse en cualquier momento hasta el vencimiento se trata de una opción americana<sup>73</sup>.

En la opción de compra, ésta es llevada a cabo si el precio corriente de mercado es mayor al precio por el cual se pactó la compra de manera de obtener una ganancia, en el caso contrario la compra no se realizará porque es preferible comprar el activo en el mercado. La opción de venta se llevará a cabo si el precio de mercado es menor al precio del contrato (para obtener una ganancia), de no ser así siempre conviene vender el activo al precio de mercado. Las siguientes expresiones resumen lo anterior:

$$C = \text{Max} \{S_T - K, 0\}$$

$$P = \text{Max} \{K - S_T, 0\}$$

En donde **C** es el valor de la opción de compra, **P** es el valor de una opción de Venta, **S<sub>T</sub>** es el valor de mercado o precio corriente (precio Spot) del activo subyacente en el momento **T**, y **K** es el precio de ejercicio (precio strike). Una opción protege al tenedor de las fluctuaciones de los precios convirtiéndose como un seguro.

Para adquirir uno de estos derechos de compra o venta, el poseedor paga una prima, al igual que en los seguros. Estos instrumentos actúan como seguros ya que proporcionan cobertura a su poseedor frente a subidas o caídas en el precio de los activos objeto de la transacción.

El valor de las opciones es función de seis variables:

1. *El precio del activo subyacente (S)*: En la opción financiera indica el precio actual del activo financiero subyacente; mientras que en la opción real indica el valor actual del activo real subyacente, es decir, el valor actual de los flujos de caja que se espera genere dicho activo.

---

<sup>73</sup> LÓPEZ DUMRAUF, Guillermo. Finanzas Corporativas. Grupo Guía. Buenos Aires, Argentina. 2003. p. 253-256

2. *El precio de ejercicio (X)*: En la opción financiera indica el precio al que el propietario de la opción puede ejercerla, es decir, el precio que puede pagar para comprar el activo financiero subyacente (*call*), o el precio que le pagarán por venderlo (*put*). En la opción real, indica el precio a pagar por hacerse con el activo real subyacente, es decir, con sus flujos de caja (por ejemplo, en un proyecto de inversión, será el desembolso inicial); o el precio al que el propietario del activo subyacente tiene derecho a venderlo, si la opción es de venta.
3. *El tiempo hasta el vencimiento (t)*: Tiempo de que dispone su propietario para poder ejercer la opción.
4. *El riesgo o volatilidad ( $\sigma$ )*: Varianza, o desviación típica, de los rendimientos del activo subyacente. Indica la volatilidad del activo subyacente cuyo precio medio es S pero que puede oscilar en el futuro, la medida de dicha oscilación es la desviación típica de los rendimientos.
5. *La tasa de interés sin riesgo (rf)*. Refleja el valor temporal del dinero.
6. *Los dividendos (D)*: Dinero líquido generado por el activo subyacente durante el tiempo que el propietario de la opción la posee y no la ejerce. Si la opción es de compra, este dinero lo pierde el propietario de la opción (porque si hablamos de una opción de compra de acciones, mientras ésta no se ejerza su propietario no será accionista y, por tanto, no tendrá derecho a los dividendos). En el caso de las opciones reales de compra, es el dinero que genera el activo subyacente (o al que se renuncia) mientras el propietario de aquélla no la ejerza.

La siguiente tabla muestra el impacto que tiene estas variables sobre el valor de las opciones.

**Tabla 3.** Efectos en el precio de las opciones

<b>Si aumenta</b>	<b>Precio de la opción de compra</b>	<b>Precio de la opción de venta</b>
Valor Activo Subyacente	Aumenta	Disminuye
Precio del Ejercicio	Disminuye	Aumenta
Varianza Activo Subyacente	Aumenta	Aumenta
Tiempo de Expiración	Aumenta	Aumenta
Tasa de Interés	Aumenta	Disminuye
Pago de Dividendos	Disminuye	Aumenta

**Fuente:** Dumrauf 2003

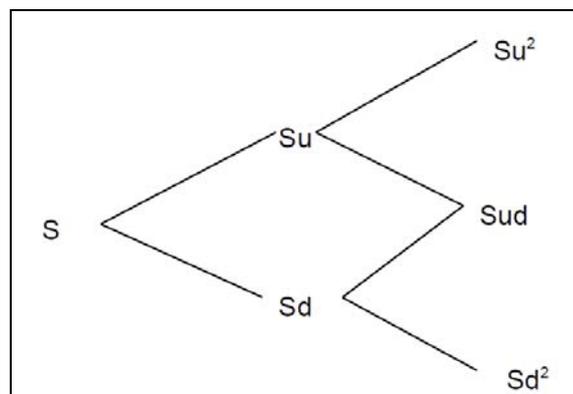
### **Cálculo del valor de la opción a partir del método binomial**

El método binomial para la valoración de opciones fue desarrollado por Cox, Ross y Rubinstein; es un procedimiento muy intuitivo y combina la matemática sencilla con la teoría de los árboles de decisión, en el cual el activo, en algún periodo de tiempo, puede moverse para uno de dos posibles precios. El árbol binomial representa las diferentes trayectorias posibles que pueden ser seguidas por el precio de un título durante la vida de la opción. La probabilidad de que ocurra un resultado u otro no importa, pues las probabilidades neutrales al riesgo se encuentran implícitas en los precios en las situaciones de alza o baja. Para el cálculo de la opción se debe suponer<sup>74</sup>:

- 1) Un mundo neutral al riesgo<sup>75</sup>,
- 2) No haya posibilidades de arbitraje para el inversor<sup>76</sup>
- 3) El valor resulta de una ponderación de sus valores en las situaciones de ascenso y descenso, descontadas por la tasa libre de riesgo

A continuación se muestra el esquema de un proceso de precio de una acción que sigue el binomial:

**Figura 8.** Formulación general para una trayectoria de precio



**Fuente:** Damodaran 2002

En esta figura, **S** es el precio actual del activo subyacente, el movimiento al alza del precio es **Su** con probabilidad **p** y el movimiento a la baja es **Sd** con probabilidad **1-p** en algún periodo de tiempo.

Los supuestos que se deben llevar a cabo para la valoración de la opción son:

<sup>74</sup> LÓPEZ D. Op. Cit., p. 268-271

<sup>75</sup> En un mundo neutral al riesgo, cualquier valor presente de un flujo de caja se descuenta por la tasa libre de riesgo, además la rentabilidad esperada es igual a la tasa de interés libre de riesgo.

<sup>76</sup> Relacionado con la Ley de precio único que dice que dos activos idénticos se deben negociar al mismo precio.

Creación de un portafolio replica: Este enfoque establece que, si por el hecho de construir la cartera, un inversionista obtiene la tasa libre de riesgo, entonces el resultado obtenido es el mismo para cualquier persona sin importar que preferencia tenga por el riesgo. Esto implica que no se debe calcular ninguna prima para descontar valores sino que estos pueden ser descontados a la tasa libre de riesgo.

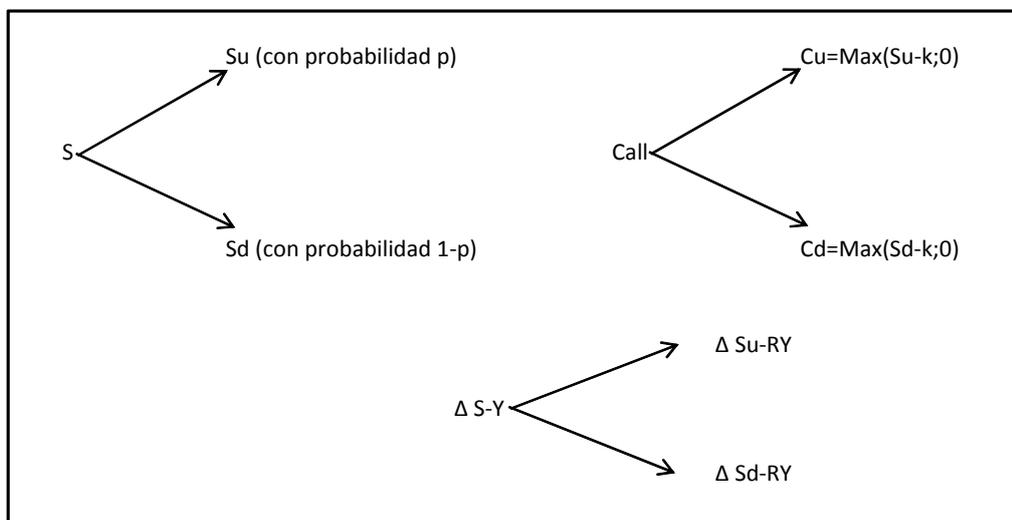
El objetivo de crear un portafolio replica es usar la combinación tomar prestado/prestar libre de riesgo y el activo subyacente para crear el mismo flujo de caja que produce la opción que está siendo valorada. Se aplican los principios de arbitraje, y el valor de la opción debe ser igual al valor del portafolio replica.

La evaluación del modelo binomial parte del valor actual de un determinado activo y luego tiene en cuenta la evolución futura probable de éste. Para ello considera que en cada periodo de tiempo el valor puede seguir solo dos caminos: aumentar o disminuir. De esta forma, llegado el momento final, el modelo habrá desplegado el conjunto de posibles valores que puede asumir el proyecto.

Una vez obtenido el esquema, en un proceso de múltiples periodos binomiales, es necesario retrotraer los resultados obtenidos hasta el momento inicial siguiendo el criterio de adoptar la decisión óptima en cada periodo, para ello se requiere descontar valores y flujos de fondos. Pero en lugar de utilizar la tasa ajustada por riesgo, se usa la tasa libre de riesgo que es la misma para cualquier valuador, junto con una variable conocida como probabilidad neutral al riesgo que mide la probabilidad de obtener como retorno la tasa libre de riesgo.

En el caso general donde el valor del activo puede subir o bajar en algún periodo de tiempo, el portafolio replica para una opción de compra con precio de ejercicio  $K$ , supondrá tomar prestado  $\$Y$  y adquirir un  $\Delta$  el activo subyacente, como se muestra a continuación.

**Figura 9.** Portafolio replica para una opción de compra



**Fuente:** Pabón 2007 (Adaptado de Financial Modeling de Simon Benninga)

Un árbol de probabilidades permite modelar trayectorias posibles para el precio de un activo subyacente asociado a la opción, y a partir de este, el precio de la misma. Se supone que dado un valor de  $K$  para el precio del ejercicio y  $S$  para el activo subyacente, que en el periodo siguiente puede alcanzar un valor más alto, dado por  $S_u$ , o se reduce a uno más bajo dado por  $S_d$ , donde,  $u > 1$ , *tasa de retorno si el precio sube* y  $d < 1$ , *tasa de interés si el precio baja*.

Para replicar estos dos posibles resultados de la opción, se compra  $\Delta$  del activo subyacente y se presta  $\$Y$  a la tasa libre de riesgo y se resuelve el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\Delta S_u - RY = C_u$$

$$\Delta S_d - RY = C_d$$

Se obtiene:

Coefficiente de cobertura: Cambio en el precio de la opción dividido por la variación en el precio de las acciones cuando nos movemos entre los puntos de convergencia.

Cuánto comprar del activo

$$\Delta = \frac{C_u - C_d}{S_u - S_d}$$

Cuánto prestar a la tasa libre de riesgo

$$Y = \frac{dC_u - uC_d}{r(u - d)}$$

Los portafolios que imitan la opción son creados en cada paso y son valuados, proporcionando el valor para cada opción en cada periodo (nodo). El resultado final del modelo binomial para determinar el precio de la opción es un resultado del valor de la opción en términos del portafolio replica, compuesto por  $\Delta$  acciones (u opciones) de el activo subyacente y tomar prestado/prestar a la tasa libre de riesgo.

**Valor de la opción de compra =**  
**Valor actual del activo subyacente x  $\Delta$  opción-Préstamo necesario para replicar la opción**

Esta expresión se puede interpretar como el cálculo del valor esperado del pago de la opción, utilizando la probabilidad  $p$ , y descontando el resultado de acuerdo a la tasa libre de riesgo. La probabilidad  $p$  es, en consecuencia, una probabilidad de riesgo neutral.

### **Determinación de los movimientos al alza y baja del activo**

Se asume que en cada periodo una obligación cuyos retornos están correlacionados con el proyecto en cuestión, el tamaño de los movimientos está determinado por la media  $m$  y la desviación estándar  $\sigma$  de los retornos del portafolio de la obligación.

Distribución discreta

$$u = (m + \sigma) / m \text{ y } d = (m - \sigma) / m$$

### **Tipos de Opciones**

Las opciones reales básicas están categorizadas en: opción de aplazar o esperar, opción de crecimiento y opción de abandono y de estas se desprenden otras. En un mismo proyecto se pueden presentar más de una opción las cuales podrían no ser aditivas y sería necesario escoger aquella que le genere mayor valor al proyecto, o al contrario pueden ser aditivas y podrían tratarse como opciones compuestas o como la suma de opciones simples. A continuación se describen las más comunes<sup>77</sup>:

- **Opción de esperar:**

Se refleja la flexibilidad que puede tener el director de proyectos en esperar a tomar una decisión de inversión o asignación de recursos hasta que las

<sup>77</sup> MASCAREÑAS, Juan. Innovación Financiera: Aplicación para la gestión empresarial. Serie McGraw-Hill. Madrid, España. 1999.

circunstancias lo hagan aconsejable. Es decir, que actuando bajo incertidumbre, invertir apuradamente se asemejaría a realizar una apuesta, y si eventualmente se puede esperar y ver cómo se desarrolla la incertidumbre, se podrá evitar por ejemplo invertir en escenarios malos lo cual es semejante a una opción call. Generalmente se presentan cuando las empresas planean una expansión o una gran inversión que es irreversible pero que enfrentan gran incertidumbre económica, que es cuando se desconoce el futuro desenvolvimiento de los mercados, por ello esperar a que se disipe la incertidumbre tiene valor.

Se fundamenta en que el flujo de caja esperado y la tasa de descuento cambian con el tiempo y un proyecto puede dar un valor presente neto negativo ahora pero puede tener un valor presente neto positivo en un futuro próximo. Para tomar la opción de esperar es importante determinar tres cosas: 1) Si la opción de invertir tiene vida ilimitada o es válida por un periodo de tiempo finito. 2) que el monto a invertir y su valor presente varían a través del tiempo y 3) que los flujos de caja y el riesgo de la inversión se pueden alterar a través del tiempo, bien sea por condiciones exógenas cambiantes (tecnología, política, etc.) o por que se tendrá acceso a información adicional.

- **Opción de crecimiento:**

Se pone en evidencia la posibilidad de realizar inversiones adicionales si las cosas funcionan bien en una primera inversión o fase. Estas inversiones le permiten a la empresa capitalizar estados favorables de la naturaleza; estas inversiones se llevaran a cabo solamente si los resultados de etapas previas fueron favorables, es decir son contingentes o condicionales a resultados previos. También la analogía es con una Call. Tiene implicaciones en penetraciones graduales del mercado, desarrollo de marcas, investigación, etc. También plantea que proyectos que no son atractivos si se hace en una sola inversión, pueden volverse atractivos si la inversión se plantea por etapas. Esta opción resulta fundamental para el mercado tecnológico, que se caracteriza por ser el más cambiante ya que quien desarrolla la última tecnología domina el mercado.

- **Opción de abandono:**

Esta opción es valiosa para aquellas empresas que tienen incertidumbre sobre si emprender un determinado proyecto de desarrollo de algún producto, porque desconocen el tamaño del mercado o no saben si podrán cumplir con los requerimientos técnicos o legales. Se comienza un proyecto y se va avanzando es su desarrollo mientras se van cumpliendo las metas y se abandona si los resultados no son los esperados. La empresa ejerce su derecho de venta, a través de abandonar o vender un proyecto o activo que no le reditúan beneficios adicionales. Actúan como seguros para estados desfavorables.

Si el valor presente de los flujos de caja de un proyecto no es suficiente para cubrir el valor presente de todas sus fases de inversión, la entidad puede decidir parar el proyecto y ahorrar gastos futuros, los cuales pueden ser usados para financiar otros proyectos que pueden generar utilidades. También puede, si es posible, vender el proyecto abandonado y en este caso no solamente se ahorraría mayores gastos sino que podría recuperar parte de lo invertido.

- **Opción de flexibilidad:**

Como su nombre lo indica otorga flexibilidad, que no es más que la posibilidad de cambiar cada vez que sea conveniente. El valor de esta opción no puede ser captada por los análisis tradicionales cuando hay incertidumbre.

- **Opción de aprendizaje:**

Este tipo de opción es el que agrega valor a las empresas que afrontan mucha incertidumbre técnica, lo cual significa que es un riesgo propio. Esta opción agrega valor a un proyecto y provoca generalmente su iniciación. El proyecto debe hacerse por etapas y solo se debe continuar o incluso acelerar la inversión si la información es favorable, en caso contrario, se debe ejercer la opción de abandono.

- **Opciones Compuestas:**

Son las opciones que derivan su valor, no de un activo subyacente, sino del valor de otras opciones. Puede tomar cuatro formas: una call sobre una call, una put sobre una put, una call sobre una put y una put sobre una call.

En opciones reales el cálculo puede ser muy complejo y complicado, por esto es preferible usar la opción de expansión, con múltiples estados en expansión, donde cada etapa presenta una opción para la siguiente etapa. En este caso se subvalora la opción por considerarla como una opción simple en vez de una opción compuesta. El valor de la opción compuesta se vuelve progresivamente más difícil a medida que se adicionan opciones a la cadena.

La transferencia de nuevas tecnologías, no solo proporciona un futuro incierto, sino que también sigue un plan de negocio que es flexible y está sujeto a posibles cambios dependiendo de su aplicación. El método de las opciones reales se utiliza para la valoración de tecnologías en su fase inicial, ya que permite capturar y evaluar la flexibilidad de los directivos para ajustar su estrategia a las modificaciones del incierto entorno en el que se encuentra la tecnología. Este método de valoración es el que se usará en el caso estudio debido a que se tiene gran incertidumbre en los datos para la fase inicial del proyecto y debido a esto no se podría obtener una valoración adecuada de la tecnología desarrollada utilizando solamente los métodos tradicionales.

## 5. CASO DE ESTUDIO

### 5.1 Antecedentes

La tendencia de producción de bioetanol a nivel mundial describe un comportamiento ascendente, lo cual supone una demanda de mercado igualmente positiva. Cabe pensar que dicho comportamiento podría atribuirse a la necesidad internacional de sustituir los combustibles tradicionales debido a las sucesivas crisis que se experimentan en este campo. Todo parece indicar que la demanda de etanol en el mercado mundial tenderá a acrecentarse en los próximos años<sup>78</sup>.

En el marco de la Ley 693/2001, Colombia inicia la era de los biocombustibles, en la cual los ingenios azucareros de las diferentes regiones del país forman parte activa de este proceso, construyendo destilerías, para la producción de etanol, cumpliendo de este modo la mezcla alcohol-gasolina en una primera fase del 10%, esto con el fin de generar un combustible más limpio y ecológico.

Actualmente el consumo de gasolina en Colombia es del orden de los 15 millones de litros por día, por lo tanto la necesidad de bioetanol para cubrir el 10% de la mezcla actual es del orden de 1.500.000 litros/día. Sin embargo, esta necesidad aumentará ostensiblemente, de acuerdo con el Decreto 1135 del 31 de marzo de 2009, en el cual se establece el uso del alcohol carburante para vehículos nuevos y usados a partir del 2012, según la cual a partir del citado año, los nuevos vehículos estarán en capacidad de consumir mezclas de combustibles de hasta 85% de etanol con gasolina<sup>79</sup>.

Actualmente, el 80% del país se abastece con una mezcla de 10% etanol y 90% gasolina. El objetivo es llegar al 100% del territorio nacional en el 2010 y más aún, una vez desarrollada una mayor oferta nacional, a partir del 2012 incrementar hasta un 20% en promedio el consumo de alcohol carburante en mezcla con las gasolinas.

Lo anterior demuestra que la demanda de alcohol carburante en los próximos años se incrementará y las destilerías deberán aumentar su producción para poder satisfacer el mercado nacional e internacional.

---

<sup>78</sup> GARCÍA CAMÚS, Juan Manuel; GARCÍA LABORDA, José Ángel. Informe de Vigilancia tecnológica. Biocarburentes líquidos: biodiesel y bioetanol. M-30985-2006. [en línea] [http://www.madrimasd.org/informacion/DI/biblioteca/Publicacion/doc/VT/vt4\\_Biocarburentes\\_liquidos\\_biodiesel\\_y\\_bioetanol.pdf](http://www.madrimasd.org/informacion/DI/biblioteca/Publicacion/doc/VT/vt4_Biocarburentes_liquidos_biodiesel_y_bioetanol.pdf) [citado en 19 Agosto 2009]

<sup>79</sup> Hernán Martínez Torres. Ministro de Minas y Energía. Espacio para el alcohol carburante. [en línea] [http://www.portafolio.com.co/opinion/analisis/2009-05-12/ARTICULO-WEB-NOTA\\_INTERIOR\\_PORTA-5179354.html](http://www.portafolio.com.co/opinion/analisis/2009-05-12/ARTICULO-WEB-NOTA_INTERIOR_PORTA-5179354.html) [citado en 19 Agosto 2009]

## 5.2 Descripción del caso de estudio

Un gran problema al cual se enfrentan las plantas productoras de alcohol carburante es la enorme producción de vinaza, ya que en promedio se producen 12 litros de vinaza por cada litro de alcohol carburante y este producto es altamente corrosivo y dañino para el medio ambiente.

Debido a esta problemática actual que se presenta con este subproducto en las diferentes plantas de destilería del país y dado que el costo de inversión y mantenimiento de la tecnología utilizada actualmente para el tratamiento de la vinaza es muy alto y no muy eficiente, la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad del Valle inició el proceso de investigación para desarrollar un método alternativo para el tratamiento de las vinazas.

Esta investigación se inició en el año 2005, a partir de la visita realizada a la India por el profesor de la Escuela de Ingeniería Química, Nilson Marriaga, la cual tuvo como propósito estudiar las tecnologías que se iban a importar al país para las plantas de etanol. El avance de esta investigación tomó fuerza con el desarrollo de la tesis de maestría del profesor Javier Andrés Dávila y gracias al apoyo obtenido por el centro de estudio GAOX (Grupo de procesos avanzados para tratamientos Químicos y Biológicos) de la Escuela de Ingeniería Química.

Para el desarrollo del caso de estudio, se tomó como base el proyecto en mención debido a la importancia que puede presentar esta nueva tecnología en la eficiencia de los diferentes ingenios, no sólo del país sino de otros países que presenten este mismo problema. Se debe tener en cuenta que la Universidad del Valle ya realizó la solicitud de patente de este nuevo proceso en la Superintendencia de Industria y Comercio de Colombia y actualmente el proyecto se encuentra en Colciencias para su estudio.

Es importante resaltar que los consumidores de esta tecnología son las destilerías que producen alcohol carburante con base en jugo de caña de azúcar y las empresa que utilicen esta misma materia prima como las industria panificadora o productora de levadura. Para el análisis se considerará únicamente la industria de biocombustibles.

La metodología utilizada para el desarrollo del caso de estudio se basó en los siguientes puntos:

- **Investigación del proceso de etanol:** En esta primera fase del proyecto se realizaron investigaciones sobre los diferentes ingenios del Valle del Cauca que tienen planta de Etanol y sobre el tratamiento que le dan a las vinazas. Se realizó la investigación de campo con un Ingenio en particular, el cual colaboró con información aproximada para el desarrollo del proyecto de grado.

- **Investigación de la nueva tecnología:** En la segunda fase del proyecto se realizaron entrevistas con los directores de la investigación de este proceso- Javier Dávila, Fiderman Machuca, Nilson Marriaga- definiendo de este modo las variables relacionadas para poder realizar la valoración

A continuación se detallará la investigación realizada en cada una de las fases del caso de estudio.

### **5.3 Primera fase del caso estudio**

La primera fase comprende la descripción del proceso de producción del alcohol carburante, con el propósito de ubicar al lector en todo el contexto, para que comprenda de una manera más cercana el problema que se está solucionando con la propuesta del grupo de investigación de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad del Valle.

#### **5.3.1 Descripción del proceso de producción de Bioetanol en Colombia a partir de caña de azúcar**

El etanol es posible producirlo a partir del jugo de la caña o de la melaza según las tecnologías disponibles en el mercado. Se debe tener en cuenta que según las condiciones propias de cada región del país es necesario un tipo de tecnología específico evaluando la tecnología que mejor se ajuste al proceso de producción de etanol.

Para producir 300.000 litros diarios de etanol, una destilería requiere de 3.900 toneladas de caña, tomando como base un rendimiento de 77 litros de etanol por cada tonelada de caña, según el estándar de las nuevas tecnologías desarrolladas.

Suplir una destilería con 3.900 toneladas de caña por día requiere el corte de 50 hectáreas diarias, en una región cuya productividad por hectárea este alrededor de 70 a 80 toneladas por hectárea. En el caso específico del Valle del Cauca esta productividad es hasta un 40% mayor debido a las condiciones climáticas y del suelo.

Dentro de la economía nacional, el sector de la caña de azúcar aporta con el 0.7% del PIB total, el 3% del PIB Industrial y el 4% del PIB Agrícola, mientras que para la región, estas cifras corresponden a 6%, 12% y 47%, respectivamente. Sin duda alguna la producción de bioetanol ocupa un renglón importante en la economía del país<sup>80</sup>.

---

<sup>80</sup> BETANCOURT, Luis Andrés. Descripción tecnológica de la cadena productora de bioetanol en Colombia a partir de caña de azúcar. *En*: Boletín Informativo de Gestión del Conocimiento. Universidad del Valle-Colciencias. No. 5. Marzo 2009

El proceso de obtención de etanol a partir de caña de azúcar comprende la extracción del jugo de caña (rico en azúcares) y su acondicionamiento para hacerlo más asimilable por las levaduras<sup>81</sup> durante la fermentación. Del caldo resultante de la fermentación debe separarse la biomasa, para dar paso a la concentración del etanol mediante diferentes operaciones unitarias y a su posterior deshidratación, forma en que es utilizado como aditivo oxigenante<sup>82</sup>.

La producción de etanol a partir de caña de azúcar puede describirse como un proceso compuesto de cinco etapas principales: Adecuación de materias primas, fermentación, destilación, deshidratación, y concentración de vinaza<sup>83</sup>. En las figuras 8 y 9 se muestra el diagrama de proceso de producción de alcohol anhidro. A continuación se describiré brevemente cada etapa:

### **1. Adecuación de materias primas:**

Proceso en el que se mezclan y preparan las materias primas (jugo claro, meladura y miel B) para que la mezcla de alimento resultante cumpla con las especificaciones requeridas en la fermentación (contenido de azúcares, sólidos y temperatura).

### **2. Fermentación:**

Proceso bioquímico efectuado por las levaduras en el que los azúcares presentes en la mezcla de alimento son transformados en etanol y dióxido de carbono, principalmente. Constituye la etapa de mayor cuidado, por ser en la que se genera el producto de interés. En esta etapa se deben manejar condiciones específicas de temperatura, PH, concentración de azúcares y nutrientes, para el desarrollo y buen desempeño de las levaduras.

### **3. Destilación**

Operación de separación de mezclas líquidas en sus constituyentes primarios, mediante diferencias de puntos de ebullición. Esta técnica aprovecha que cada sustancia evapora a una temperatura diferente de las otras. Se lleva a cabo en columnas donde la diferencia de temperaturas se logra adicionando calor en el fondo con equipos llamados rehervidores, mientras que por la parte superior o cima, las corrientes son retiradas y enfriadas con equipos denominados condensadores.

---

<sup>81</sup> Microorganismo que actúa como fermento alcohólico

<sup>82</sup> ARIEL CARDONA, Carlos; SÁNCHEZ, Óscar Julián; MONTOYA, María Isabel; QUINTERO, Julián Andrés. Simulación de los procesos de obtención de etanol a partir de caña de azúcar y maíz. *En: Scientia et Technica UTP* [en línea] Año XI No 28 Octubre (2005). ISSN 0122-1701

<sup>83</sup> CENICAÑA. Proceso de obtención de etanol [en línea]. <[http://www.cenicana.org/pop\\_up/fabrica/diagrama\\_etanol.php](http://www.cenicana.org/pop_up/fabrica/diagrama_etanol.php)> [citado el 19 de Agosto de 2009]

#### 4. Deshidratación

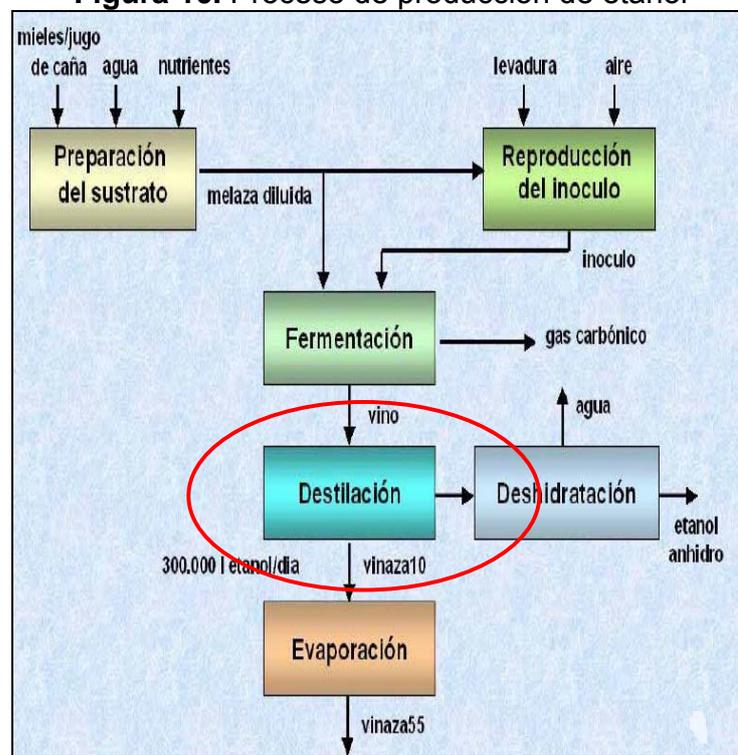
Etapa del proceso de producción de etanol carburante en la que se busca obtener un producto de elevada concentración de etanol (> 99.5 % v/v) retirando el agua remanente, bien sea mediante técnicas de adsorción por tamices moleculares, o utilizando otras técnicas como la destilación azeotrópica, destilación extractiva o pervaporación.

#### 5. Concentración de Vinaza

Es la etapa de tratamiento de la vinaza producida en la columna despojadora; se realiza por medio de evaporadores Flubex, equipos en los que se concentra la vinaza desde 8% y 15% hasta 25% y 45% mediante evaporación del agua contenida en la corriente. Utiliza como fluido calefactor el vapor de escape de calderas.

Este esquema de producción se le conoce ampliamente como producción dual, pues es un esquema muy utilizado en las diferentes destilerías del mundo.

**Figura 10.** Proceso de producción de etanol



Fuente: Cenicaña



Tiene amplia experiencia en el diseño e instalación de tamices moleculares y ha instalado plantas de alcohol de 200.000 ltr/d de capacidad empleando maíz como materia prima. Su tecnología es de fermentación continua, deshidratación con tamices moleculares y tratamiento anaeróbico de las vinazas.

Algunas ventajas de esta tecnología están en que se requiere menor consumo de levadura y produce menos residuos por ser autofloculante; que tiene menor consumo de agua porque considera recirculación de las vinazas para diluir, lo que implica menor generación de vinazas al final del proceso; que no se requieren químicos adicionales para la deshidratación sino que se hace por tamices moleculares.

### 5.3.2 La Vinaza

Uno de los subproductos a explotar como nuevo negocio es la vinaza, que es el principal desecho en la producción del etanol, y que se utiliza como abono orgánico en cultivos de todo tipo. La vinaza es un líquido de color café y olor dulce, se obtiene de la caña de azúcar y constituye el desecho de mayor importancia en las destilerías de alcohol. Si esta sustancia no se somete a ningún tratamiento y se vierte directamente a las fuentes de agua consume el oxígeno, mata a los peces y afecta seriamente el ecosistema.

Una planta de 100.000 litros de alcohol por día debe disponer alrededor de 1.000 m<sup>3</sup> de vinaza que contiene 70 toneladas de sólidos, de los cuales 52 son orgánicos y 18 inorgánicos. La oxidación de esta carga contaminante, una vez dispuesta en el agua, exige volúmenes grandes de oxígeno. La demanda biológica de oxígeno (DBO) de las vinazas es del orden de 25.000 mg/l si se parte de melazas y de 6.000 a 16.500 si se trabaja con mieles vírgenes. Los valores correspondientes para la demanda química de oxígeno (DQO) son 65.000 mg/l y de 15.000 a 33.000 mg/l, En la tabla 4 se puede observar la producción de alcohol carburante y vinazas en Colombia.

**Tabla 4.** Producciones de alcohol carburante y vinazas en Colombia

Destilerías	Alcohol (Lts/día)	Vinaza/alcohol	Vinaza (m <sup>3</sup> /año)	Sólidos Totales (%)
Cauca	294,000	1.35	124,230	35.0
Manuelita	176,000	1.00	59,840	55.0
Mayagüez	150,000	1.30	62,205	35.0
Providencia	240,000	1.20	92,160	32.5
Risaralda	75,000	2.40	54,000	35.0
TOTAL	935,000		392,435	

Fuente: Cenicaña (2006)

La materia orgánica coloidal de la vinaza se descompone con relativa facilidad, por esta razón si la vinaza se descarga en corrientes de agua, el contenido de oxígeno disuelto disminuye radicalmente, ya que se consume en el proceso de oxidación de la materia orgánica y por lo tanto produce un efecto contaminante en el agua, pero a la vez puede llegar a convertirse en una ayuda para los suelos. Más aún, incrementando los contenidos de nitrógeno y fósforo puede obtenerse un producto de un real valor fertilizante, como sucede con el proceso de compostaje que se lleva a cabo en los ingenios, al unir la vinaza proveniente del proceso del etanol con la cachaza procedente del proceso del azúcar de caña.

La composición de la vinaza es variable y depende de la materia prima usada en el proceso y de las condiciones de operación. En promedio puede establecerse que la vinaza contiene 93% de agua. De los sólidos el 75% son orgánicos. De los constituyentes inorgánicos el 64% es Potasio. La tecnología propuesta le genera beneficios económicos a las destilerías desde varios frentes.

La vinaza contiene principalmente materia orgánica, potasio (K), azufre (S), magnesio (Mg), nitrógeno (N) y calcio (Ca); sin embargo, esta composición es variable según provenga de melaza, jugo o la mezcla de ambos. De acuerdo con análisis realizados en Brasil (Gloria y Orlando, 1983), la vinaza proveniente de melaza presenta los mayores contenidos de materia orgánica y elementos minerales.<sup>84</sup> En la tabla 5 se muestra las características de las vinazas obtenidas en Colombia.

**Tabla 5.** Características de las vinazas obtenidas en Colombia

Análisis	Unidad	Vinaza (55% s.t.)	Vinaza (10% s.t.)
Materia Orgánica	(%)	47.77	4,20-6.70
N	(Kg/m3)	4.30	0.63-1.14
PsO5	(Kg/m3)	0.50	0.07-0.25
K2O	(Kg/m3)	41.00	6.00-10.86
CaO	(Kg/m3)	7.00	1.05-3.14
MgO	(Kg/m3)	9.00	1.34-2.26
SO4	(Kg/m3)	35.00	3.88
pH		4.3-4.5	3.5-4.3
Densidad	(Kg/m3)	1.35	1.03

**Fuente:** Cenicaña (2006)

<sup>84</sup> QUINTERO D. Rafael, CADENA S Silvio F., BRICEÑO B Carlos O.: Proyectos de Investigación sobre uso y manejo de Vinazas. Julio 24 de 2006

### **5.3.3 Usos de la Vinaza**

Varios usos se le han dado a la vinaza sobre todo a nivel agrícola, usándola en compostaje<sup>85</sup>, concentrándola para utilizarla como fertilizante, como materia prima para la fabricación de proteína celular, como alimento para animales, utilizada en fermentación anaerobia y hasta se recircula dentro del mismo proceso de fermentación para disminuir su volumen de producción, pero algunas de estas aplicaciones tienen sus desventajas ya sea por tiempos de residencia elevados, inversiones altas o dificultades de operación.

El uso más ampliamente conocido como disposición final de la vinaza es como fertilizante. Usada como agua de riego con efectos adicionales de acondicionamientos de suelos y fertilización, tiene como ventajas: mejorar las propiedades fisicoquímicas del suelo, incrementar el poder de retención del agua y de sales minerales, aumentar la concentración de potasio y otros elementos fertilizantes en el suelo y aumentar la microflora.

Desafortunadamente la vinaza es un fertilizante desequilibrado con relación a la presencia de macro nutrientes, dado que tiene un contenido elevado de potasio, mediano de nitrógeno y bajo de fósforo. Una alta aplicación de vinaza al suelo genera un desequilibrio de elementos, por lo general una presencia excesiva de potasio. Se ha encontrado en muchos estudios en el Brasil que esto a su vez genera problemas en el cultivo de la caña de azúcar: atraso de maduración, disminución de sacarosa aparente y aumento de ceniza. El uso de vinaza como agua de riego tiene, por lo tanto, que ser controlado, con el fin de evitar aplicación excesiva principalmente de potasio (Ocampo, 2004).

### **5.3.4 Tratamientos actuales de la Vinaza**

El compostaje es una técnica centenaria que aplica para residuos de vinaza que sean secos y fibrosos, la cual no es aplicable a la vinaza líquida ni concentrada directamente, pero las vinazas pueden añadirse al proceso de compostaje de otros residuos (Proceso conocido como co-compostaje). La cachaza de los ingenios azucareros es un sustrato ideal para compostaje. El compostaje de este material permite reducir la humedad, volumen y peso, y en consecuencia reducir los costos de transporte y de aplicación. Por esta razón este compostaje suele justificarse económicamente, con y sin adición de vinazas. Un Ingenio de 5.000 Toneladas de caña por día en el Valle del Cauca produce hasta 300 toneladas diarias de cachaza. En otras partes del planeta la producción de cachaza es un poco menor por tonelada de caña

---

85 Compostaje: Transformación de materiales orgánicos crudos en productos biológicamente estables

molida, pero esta cachaza es más seca y orgánica que en Colombia, donde la cosecha de la caña a lo largo del año arrastra mucha tierra.

La adición de vinaza al compostaje de cachaza se hace desde hace más de 20 años. Uno de los problemas de este método es que es necesario un tiempo de residencia relativamente largo para obtener el compostaje, entre 30 y 45 días, además de necesitar grandes áreas de tierra para lograrlo, este método es el más utilizado en Colombia.

Es por esto que el uso de la vinaza como materia prima para compostaje es una alternativa con ventajas, pero al mismo tiempo tiene restricciones que impiden sea la técnica ideal a utilizar. Los tratamientos biológicos han sido aplicables a las aguas residuales industriales, en general, tres principales procesos biológicos han sido aplicados para el tratamiento de aguas industriales: bioprecipitación la cual resulta en oxidación y precipitación, fermentación anaerobia la cual convierte la materia orgánica en gases solubles y producción de co-productos con valor agregado por fermentaciones aeróbicas (Buswell, 1939).

#### **5.4 Segunda Fase del caso estudio**

En la segunda fase se describe la problemática que se está presentando actualmente en las distintas destilerías del país, la cual representa la justificación del proceso alternativo para el tratamiento de las vinazas. Se explica de forma general en qué consiste esta nueva tecnología para una mayor comprensión del análisis que se hace a partir de la simulación.

##### **5.4.1 Definición del problema**

La tecnología actual con la cual trabaja los ingenios del país en sus destilerías, genera altos costos de operación, representados básicamente en consumo de vapor, energía y mantenimientos elevados, el 80% de los costos totales del proceso de destilación corresponden al proceso de concentración de vinaza<sup>86</sup>. Éstos se pueden minimizar considerablemente con la tecnología de proceso propuesta por los investigadores de la Universidad del Valle.

Los mantenimientos que se realizan con la tecnología actual ascienden a más de \$12.000.000 de pesos mensuales, esto es debido a que la vinaza se concentra en evaporadores cuya temperatura alcanza más de los 60 grados centígrados, ocasionando incrustaciones que se adhieren a los evaporadores, impidiendo que el calor pase. Al no haber la suficiente evaporación, en algunas ocasiones se manda toda la vinaza diluida a

---

<sup>86</sup> Información suministrada por el Ingeniero encargado de una destilería de un Ingenio del Valle del Cauca.

compostaje, sin el proceso de evaporación. Con la nueva tecnología no hay necesidad de calentar ni evaporar, se realiza a temperatura ambiente.

La tecnología utilizada en Colombia y gran parte de Brasil es tecnología PRAJ (india) la cual utiliza para la concentración de la vinazas un sistema de evaporación flubex, el cual es uno de los más costoso por contar con una tecnología que limpia las paredes de los tubos, logrando operaciones continuas por 45 a 60 días sin requerir limpieza. Sin embargo esto no se ha cumplido y el mantenimiento se deber realizar cada 15 quince días. Por resultar una inversión tan cuantiosa, aproximadamente \$1 millón de dólares por cada flubex la mayoría de las plantas no cuentan con la capacidad necesaria para tratar toda la vinaza proveniente de la fermentación. Solamente se concentra máximo un 40% de la vinaza, el otro 60% debe ser reciclado, causando sobrecostos por mantenimiento de los fermentadores y una disminución de producción aproximada de un 4% anual, durante los días en que se hace mantenimiento a los fermentadores que es de un día completo dos veces al mes.

Este nivel de concentración ocasiona mayores costos en el compostaje, debido a que la vinaza sale del proceso muy diluida. Con la tecnología propuesta los sólidos se decantan por medio de la electro-coagulación, y la vinaza que se obtiene contiene menor cantidad de agua (es un lodo). El proceso de compostaje se vería beneficiado de este proceso, ya que se disminuiría el tiempo de secado y por ende se tendrían menores costos de producción.

Trabajando con meladura o con melazas es posible reciclar vinaza dentro del proceso de fermentación por dilución de miel. Esto ayuda a minimizar el requerimiento de agua en el proceso y también reduce considerablemente el volumen de los efluentes. Pese a esto, se debe tener mucho control del nivel de componentes de ácidos volátiles de la vinaza para que no alcance niveles inhibitorios que hacen que disminuya la actividad de la levadura representando también un mayor costo de mantenimiento, aunque este último no es relevante, en la tabla 6 se muestran los niveles ideales para la recirculación de vinaza. Con la tecnología propuesta lo que se recircula estará casi libre de sólidos, lo cual conlleva a ahorros por consumo de agua, reducción de costos de mantenimiento de tanques de fermentación y una producción de alcohol más estable.

Con el cálculo de todos estos beneficios económicos que resultarían del uso de esta tecnología de proceso para la concentración de la vinaza, las destilerías podrían hacer la inversión en la planta de tratamiento, y podrían pagar como regalía a la Universidad parte de la utilidad marginal después de impuestos, derivada del uso de esta tecnología.

**Tabla 6.** Niveles ideales de los parámetros de la vinaza recirculada

Parámetro	Valores ideales
Ácidez Volátil	<1000 PPM
Grado de alcohol	>8.0%

**Fuente:** Elaboración propia

Como se ha visto la concentración de vinazas es una etapa importante en el consumo energético de una planta de producción de alcohol, los costos representan hasta un 50% del costo total del proceso. Por tal motivo, es necesario buscar nuevas alternativas de tratamiento de vinazas que permitan mejorar o reemplazar las técnicas actuales, buscando productos con valor agregado y una mejora en la disminución del impacto ambiental. Tratando de mitigar el efecto de la alta carga orgánica y las incrustaciones, se desarrolló el proyecto de tratamiento de vinazas en la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad del Valle, la cual fue desarrollada por un método electroquímico alternativo para la reducción de los sólidos presentes en las vinazas, debido a que este proceso ha proporcionado resultados satisfactorios cuando se aplica a aguas residuales. Sin embargo esta investigación se encuentra en su etapa de prueba piloto.

#### **5.4.2 Tratamiento electroquímico de vinazas<sup>87</sup>**

Esta técnica consiste en tratar la vinaza con corriente eléctrica de bajo amperaje, a través de electrodos de aluminio o acero galvanizado, para generar complejos de hidróxidos metálicos que atrapan y aglomeran las partículas presentes en el líquido. De esta manera, el material orgánico se separa del agua depositándose por gravedad. Asimismo, se generan burbujas de hidrógeno formando una espuma que también arrastra material orgánico. Mediante este proceso, es posible extraer el material orgánico de la vinaza, para su posterior compostaje, sin calentarla y evitando que se presente el fenómeno de incrustación.

Las vinazas han sido tratadas por métodos electroquímicos y en combinación con membranas, logrando disminuir la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda biológica de oxígeno (DBO) y el contenido orgánico total (TOC) en porcentajes superiores a 90 %.

Existen varios estudios (Yusuf Y., 2007), los cuales trataron la vinaza por medio de la electrocoagulación, encontrando que las concentraciones de un electrolito soporte y peróxido de hidrógeno en la solución modifican

<sup>87</sup> DÁVILA R., Javier Andrés. ELECTRO – COAGULACIÓN/FLOTACIÓN/OXIDACIÓN DE VINAZAS DE DESTILERÍA. Cali 2008. 145 h. Tesis (Magister Ingeniería Química. Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.

fuertemente la capacidad de remoción del contenido orgánico total, alcanzando valores superiores a 80%.

#### **5.4.3 Proceso propuesto: electro – coagulación/flotación/oxidación**

La investigación desarrollada por la Escuela de Ingeniería Química tuvo por objetivo evaluar el comportamiento del proceso de electroflotación/oxidación de vinazas, sin tratamiento previo, para la reducción de DQO, TOC y sólidos totales en función de variables de proceso como pH inicial, concentración de soporte electrolítico (NaCl), concentración de peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), densidad de corriente (DC) y distintos electrodos: hierro, aluminio y acero galvanizado.

El proceso de electroflotación/oxidación para el tratamiento de vinazas fue evaluado para diversos tipos de electrodos; el material utilizado influye en la eficiencia del proceso puesto que implica el desarrollo de diferentes procesos como flotación, coagulación y oxidación.

Para el tratamiento de la vinaza se encontró que el pH básico fue el de mejor desempeño durante el proceso de electroflotación. La adición de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> produce reacciones tipo Fenton que contribuyen al aumento de la degradación de la materia orgánica. Para las condiciones estudiadas, el proceso de electroflotación/ oxidación exhibe mejor desempeño cuando se adiciona H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, se utilizan electrodos de acero galvanizado, baja densidad de corriente(20–40 mA/cm<sup>2</sup>), y se opera con condiciones básicas.

El tratamiento de vinaza por medio de electroflotación/oxidación puede convertirse en una alternativa viable por cuanto requiere poco tiempo de tratamiento y el consumo energético es relativamente bajo<sup>88</sup>.

#### **5.5 Valoración económica del caso estudio**

Para el caso de estudio se analizó la factibilidad de inversión por parte de una destilería. Además se calculó el valor de la opción que podría compararse con la inversión que se hace en la etapa de I+D.

Usando la metodología propuesta por Dumrauf (2003), el procedimiento sugerido es el siguiente:

1. Calculo del valor presente esperado mediante las técnicas tradicionales E(VPFC).

---

<sup>88</sup> RINCÓN, Javier Dávila; MACHUCA MARTÍNEZ, Fiderman y MARRIANGA CABRALES, Nilson. Reducción de demanda química de oxígeno, carbono orgánico total y sólidos totales en vinazas mediante electroflotación/oxidación. En: Revista Ingeniería e Investigación Vol. 29 No. 1, Abril de 2009. p 35-38

2. Construcción del árbol de eventos, a partir de la combinación de un conjunto de incertezas combinadas con la ayuda del software que permita la simulación
3. Diseño del árbol binomial
4. Valuación y análisis de las opciones reales, usando probabilidades neutrales o portafolio réplica.

Para la valoración del nuevo proceso del tratamiento de la vinaza, se realizó un escenario en el cual se analiza la factibilidad del proyecto de inversión en un ingenio con capacidad de producción de **150.000 litros /día**. La información que se utilizó para el desarrollo del caso estudio fue suministrada por los expertos que desarrollaron la tecnología y el ingenio que se visitó. La información obtenida se puede resumir de la siguiente manera:

- **Información obtenida por investigadores**

La información obtenida por los investigadores se basó en estimaciones que se desarrollaron a nivel de laboratorio. Por medio de esta fuente de información se conoció el proceso desarrollado y cuáles son los impactos según datos aproximados.

Los costos aproximados que se utilizaron se calcularon a partir de datos obtenidos para una planta piloto que trabaje 60m<sup>3</sup> de vinaza/día. Estos datos se escalan a nivel de la capacidad de un Ingenio.

- **Información obtenida por el ingenio**

A lo largo del desarrollo del proyecto de grado se realizaron varias visitas a un ingenio. Primero se describió el proceso desarrollado por los investigadores de la Universidad del Valle. De acuerdo a la explicación sobre la nueva tecnología y los impactos que ésta implica para el ingenio, se logró obtener la información necesaria de costos y gastos aproximados del proceso actual de producción de etanol, con los cuales se desarrolló el modelo de valoración.

### **5.5.1 Variables del caso estudio**

Con la información obtenida se logró identificar las variables críticas del proceso y los parámetros de entrada de éste, los cuales se utilizaron en la simulación de la valoración de la nueva tecnología. A continuación se detalla el escenario de estudio.

#### **5.5.1.1 Escenario: Cambio de tecnología en el ingenio**

Se establecieron los parámetros, teniendo en cuenta las principales variables identificadas según la información obtenida por los investigadores y el Ingenio.

## 1. Parámetros

**Cuadro 1. Parámetros**

<b>CAMBIO DE TECNOLOGÍA DEL INGENIO</b>	
Inversión inicial	\$ 3.273.717.603,96
<b>Ingresos</b>	
Precio etanol (\$/galón)	8.222,89
Precio azúcar crudo (US\$cents/lb)	18,84
Variación Precio azúcar Crudo	1,69%
Demanda azúcar crudo (t)	170.521,00
Variación Demanda azúcar crudo	2,16%
FC1	22,05
FC2	3,79
FC3	20,00
FC4	21,86
TRM	2.286,80
Aumento productividad	5%
Disminución costos tecnología actual	50%
IPC	3%
<b>Costos</b>	
Tasa de Impuestos	33%
Tasa mínima de retorno de los ingenios	22%
Tiempo de depreciación	5
Regalías	6%

**Fuente:** Elaboración propia

Los valores de los parámetros son del año 2012, a continuación se detallará cada uno de las variables que se utilizaron en el modelo y los supuestos básicos.

- **Inversión:**

El valor de la inversión se obtiene de la información técnica suministrada por los investigadores, profesores de la Escuela de Ingeniería Química. Ellos estimaron el valor de la inversión para la construcción de una planta piloto para el tratamiento de 60m<sup>3</sup> de vinaza/día (10% sólidos). Teniendo en cuenta un ingenio con capacidad de producir 150.000 litros de etanol por día, lo que equivale a 1.800m<sup>3</sup> de vinaza/día, se escalaron los costos de la planta piloto a la capacidad de proceso del ingenio.

Se asume que el valor de la inversión es fijo y no cambia al cabo de los años que durará la etapa piloto. Los datos obtenidos son los siguientes:

INVERSIÓN NUEVA TECNOLOGÍA	
Equipos Instalados	\$ 854.271.134
Insumos	\$ 1.646.973.177
Puesta en marcha	\$ 750.373.293

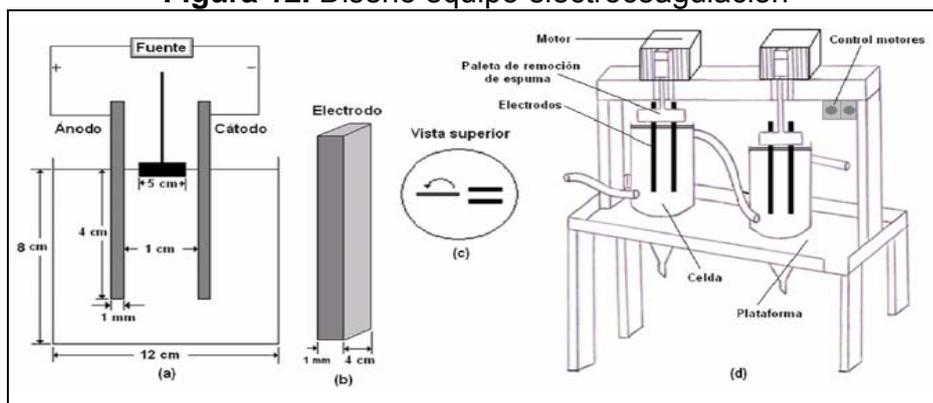
} Inversión

De acuerdo a la información obtenida por los profesores que desarrollaron la nueva tecnología, los equipos e insumos necesarios para el desarrollo de la ésta son los siguientes:<sup>89</sup>

- Equipo para la Celda electrolítica
- Electrodo
- Plataforma inclinada que sostenga la celda en la que se recoge la espuma formada en el proceso. Esta incluye un agitador que barre la espuma.

En la figura 12 se muestra el diseño del equipo a nivel de laboratorio desarrollado por la escuela de ingeniería química de la Universidad del Valle:

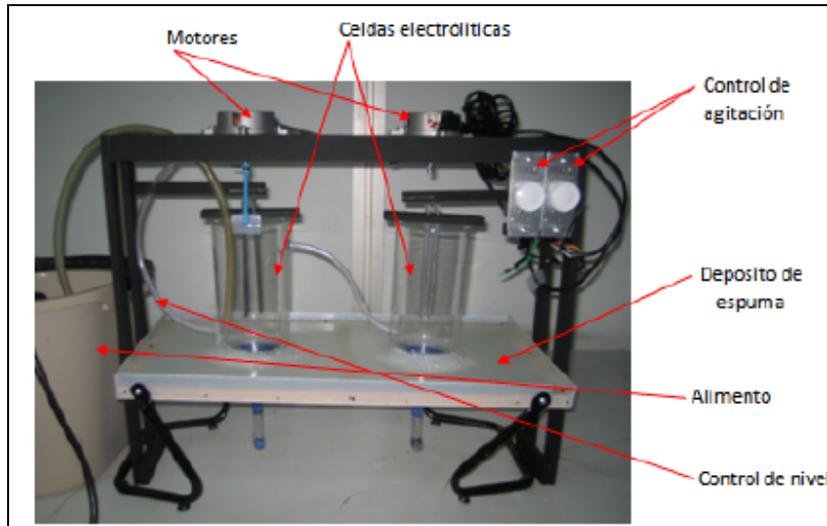
**Figura 12.** Diseño equipo electrocoagulación



Las siguientes figuras muestran una fotografía del equipo a nivel de laboratorio y la celda electrolítica respectivamente.

**Figura 13.** Equipo a nivel de laboratorio

<sup>89</sup> DÁVILA, Op. cit., p. 45



**Figura 14.** Celda electrolítica



La puesta en marcha corresponde al valor de desinstalación de la tecnología actual, y la instalación de la propuesta. De acuerdo a la información suministrada por los expertos, este valor corresponde a un 30% de la inversión inicial.

Los ingenios una vez al año estipulan un tiempo determinado para realizar un mantenimiento general a la planta, el cual se puede aprovechar para el montaje de nuevos equipos. Por lo tanto la instalación de la nueva tecnología se realizaría en este período de tiempo y de esta forma no se tienen que asumir paradas adicionales a la producción.

- **Precio de Etanol**

El precio del etanol es un parámetro de gran importancia ya que está directamente relacionado con los ingresos del proyecto de inversión, ya que la mejora en el proceso equivale a un aumento de producción de etanol y por ende a un aumento en las ganancias.

En Colombia por medio de la resolución de marzo de 2009 se fija el precio del galón de etanol, esto con el propósito de incentivar a las destilerías en la fase inicial de este negocio. El gobierno definió en esta fórmula un componente denominado costo de oportunidad, la alternativa de producir alcohol como el de fabricar azúcar crudo.

Se trabajará con esta fórmula ya que ella refleja el valor de mercado aunque un cambio de gobierno podría ocasionar un precio más parecido al precio internacional.

De acuerdo a la Resolución 180515 de 2009 (abril 1°) el Ministerio de Minas y Energía estableció la siguiente fórmula para fijar el precio del etanol<sup>90</sup>:

$$\text{EqAC}(t) = [\text{AzNY}(t) * \text{FC1} * \text{FC2} * \text{TRM} / (\text{FC3} * \text{FC4})]$$

Donde:

EqAC(t): Es el valor equivalente del alcohol carburante, expresado en pesos por galón, para el período t.

AzNY(t): Es el promedio de las cotizaciones de cierre de la posición más cercana del azúcar crudo, correspondiente al Contrato número 11 de la Bolsa de Nueva York para los veinticinco (25) días del mes anterior, publicadas en Reuters, Bloomberg o Futures Source, expresadas en centavos de dólar por libra por tonelada (USCent\$/Lb).

FC1: Es el factor de conversión de centavos de dólar por libra tonelada (USCent\$/Lb) a dólares por tonelada (US\$/TON), el cual es de veintidós punto cero cuarenta y seis (22.046).

FC2: Es el factor de conversión de galones a litros, el cual es de tres punto setecientos ochenta y cinco (3.785).

---

<sup>90</sup> MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 180515 de 2009. Diario Oficial No. 47.311 de 3 de abril de 2009. Disponible en línea: <http://www.aciem.org/bancoconocimiento/R/RESOLUCI%C3%93N180515DEABRIL1DE2009/RESOLUCI%C3%93N180515DEABRIL1DE2009.asp?IdArticulo=38746&CodMagazin=14&CodSeccion=385> [citado en 19 Octubre de 2009]

FC3: Es el factor de conversión entre quintales de azúcar y toneladas de azúcar, el cual es de veinte (20).

FC4: Es el factor de rendimiento entre alcohol y azúcar, expresado en litros equivalentes de alcohol por quintal de azúcar, el cual se fija en veintiuno punto ochenta y seis (21.86). Este factor incluye la relación estequiométrica entre azúcar y alcohol, la menor recuperación de alcohol a partir de la sacarosa y el costo de conversión del azúcar en alcohol.

TRM: Es el promedio de la Tasa Representativa del Mercado, certificada por la autoridad competente, vigente para los veinticinco (25) primeros días del mes inmediatamente anterior al período t.

t: Es el período transcurrido entre el primero y el último día de cada mes calendario.

Esta fórmula seguirá vigente, según la información suministrada por el Ministerio de Minas y Energía, ya que ésta debe ser sostenible en el tiempo para que el programa de biocombustibles que promueve el gobierno no se vea afectado.

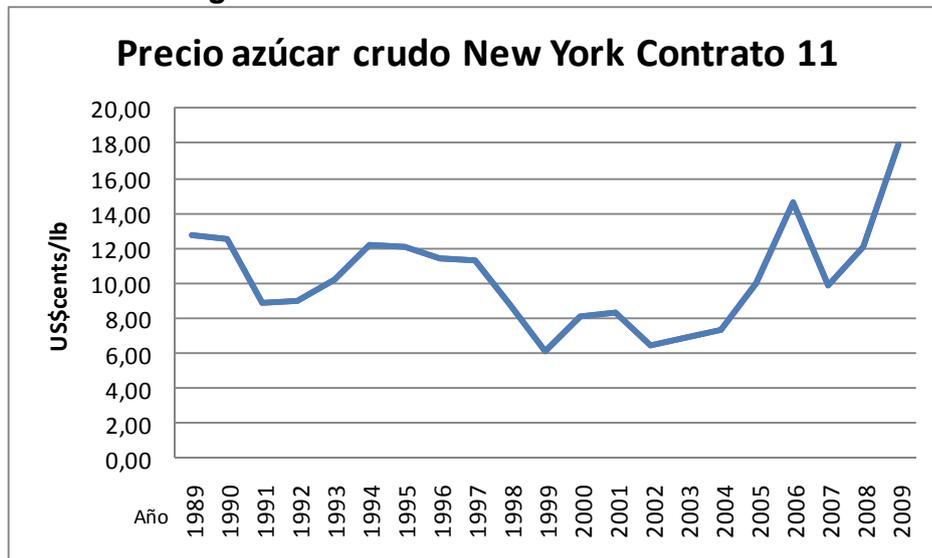
- **Variación Precio Azúcar crudo**

El precio del azúcar crudo se utiliza para calcular el valor del precio del etanol (de acuerdo a la fórmula anteriormente descrita). Se utilizó información histórica del precio de azúcar crudo correspondiente al contrato # 11 de la Bolsa de Nueva York (US\$cents/lb), obtenida de la página web de Asocaña y de la Secretarías de la OCDE y de la FAO, para calcular la variación logarítmica. Ver Anexo B

La evolución de los precios internacionales del azúcar ha sido muy variable y está relacionada con el comportamiento de la oferta y la demanda del producto, por las medidas proteccionistas y las distorsiones que existen en este mercado. La intervención de los gobiernos a través de políticas públicas ha generado mayor volatilidad en los precios internacionales.

En el siguiente gráfico se presenta la evolución de los precios internacionales del azúcar crudo, para el período 1989-2009, en el cual se observa una alta volatilidad.

**Figura 15.** Precio mundial de azúcar crudo



**Fuente:** Elaboración propia con datos del precio del azúcar crudo New York Contrato 11 obtenidos de Asocaña

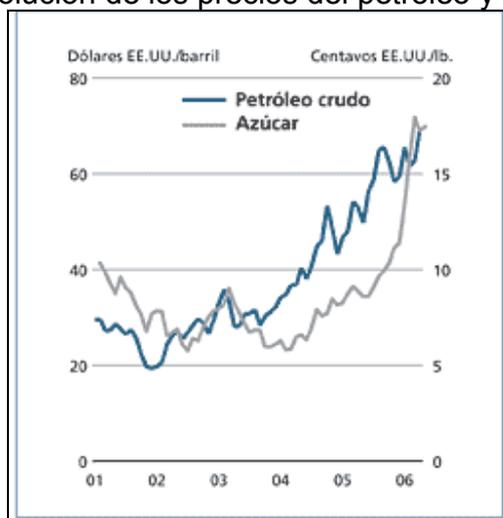
Los cambios climáticos que se están presenciando a nivel mundial son otros de los principales causantes de la variación del precio del azúcar crudo, especialmente cuando se afectan las cosechas de India y Brasil, los dos grandes productores mundiales. Desde enero del 2009 el aumento del precio internacional del azúcar crudo ha sido del 68% y seguirá aumentando durante el primer semestre del 2010, pero empezaría su ciclo descendente a partir del segundo semestre del mismo año<sup>91</sup>.

Existe una evolución paralela entre los precios del azúcar crudo y los del petróleo (figura 17) que se debe principalmente por el fuerte vínculo que existe entre la producción de etanol y de azúcar en Brasil, el mayor productor y exportador mundial de azúcar, que representa alrededor del 38% de las exportaciones mundiales y el 19,5% de la producción. El número cada vez mayor de vehículos brasileños de combustible “flexible” que pueden funcionar con cualquier combinación de gasolina y etanol influye directamente en la demanda de etanol. Dada la reacción de los consumidores ante la diferencia de los precios relativos entre la gasolina y el etanol, cualquier aumento en el precio de la gasolina estimula la demanda de etanol, reduce las exportaciones de azúcar y aumenta los precios mundiales del azúcar. De forma análoga, una disminución en los precios del petróleo se traduciría en un consumo menor de etanol, una desviación mayor de

<sup>91</sup> Bonanza del azúcar: precio internacional por las nubes En: Lanota.com. [en línea]. Disponible en: <http://lanota.com/index.php/CONFIDENCIAS/Bonanza-del-azucar-precio-internacional-por-las-nubes.html> [citado en 18 febrero 2009]

volúmenes de azúcar al mercado mundial, y una presión a la baja sobre los precios mundiales del azúcar. A nivel mundial, se estima que alrededor del 15 por ciento de los cultivos de azúcar se convierten en etanol y no en azúcar<sup>92</sup>.

**Figura 16.** Evolución de los precios del petróleo y el azúcar crudo



**Fuente:** Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

- **Variación Demanda Azúcar crudo**

Se obtuvieron datos históricos del Informe Anual de Asocaña y proyecciones calculadas por la Secretarías de la OCDE y la FAO. Ver Anexo C

Con estos datos se realizó un análisis de elasticidad de la variación de la demanda mundial de azúcar crudo y la variación del precio de azúcar crudo correspondiente al contrato # 11 de la bolsa de Nueva York, para poder conocer la relación lineal existente en estas variables. Se utilizó la función de Excel, Coeficiente de Correlación, y el valor arrojado se introdujo en el software para la simulación.

Coeficiente de Correlación	-0.159
----------------------------	--------

Este valor indica que la correlación es casi cero, sin embargo esto no implica que no haya dependencia entre las dos variables, existen otros factores que influyen en la variación del precio del azúcar crudo. El valor negativo significa

<sup>92</sup> Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Perspectivas Alimentarias. Análisis del Mercado Mundial. 2006. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/009/j7927s/j7927s11.htm> [citado en 18 febrero 2009]

una correlación negativa, existe una dependencia entre las dos variables llamada relación inversa.

- **Factores de conversión**

Estos factores de conversión están estipulados en la fórmula que fija el precio del etanol los cuales son constantes:

$$FC1= 22.046$$

$$FC2= 3.79$$

$$FC3= 20.00$$

$$FC4= 21.86$$

- **Tasa representativa del mercado**

La tasa representativa del mercado es otro componente importante de la fórmula que fija el precio del etanol. Se obtuvieron datos históricos del Banco de la República con los cuales se realizó el análisis de distribución. Ver Anexo C

- **Aumento de productividad**

A partir de las pruebas a nivel de laboratorio y teniendo en cuenta la información detallada del proceso de producción de etanol obtenida durante las visitas realizadas a un ingenio de la región, los investigadores de la Universidad realizaron un análisis a escala industrial.

Se tuvieron en cuenta los diferentes elementos que influyen directa e indirectamente en el proceso de concentración de vinaza. Como se describió en la definición del problema (apartado 5.2.1), la tecnología propuesta disminuye los problemas relacionados con los mantenimientos que se realizan a los equipos utilizados actualmente y los relacionados a la recirculación de la vinaza.

Una reducción de los mantenimientos se traduce en menos paradas de proceso, disminución de la producción. Al recircular vinaza libre de sólidos se estabilizan las propiedades de la levadura sin disminuir su actividad en la producción de alcohol. Por lo tanto, a partir de estos análisis se supone un aumento de productividad que oscila entre un rango del 2% al 5%. Estos datos pueden variar considerablemente ya que se calcularon con base en análisis realizados a nivel de laboratorio, cuando la tecnología se lleve a escala industrial se pueden alterar.

- **Disminución costos tecnología actual**

A partir del análisis realizado por los profesores de la Universidad y los datos de costos aproximados suministrados por un ingenio de la región, con el desarrollo de la nueva tecnología se disminuirán principalmente los costos relacionados con:

- **Mantenimiento:** con la disminución de sólidos en la vinaza proveniente de la destilación de etanol, se recirculará vinaza más limpia en el proceso lo cual generará ahorros en el mantenimiento de los Flubex, rehervidores y calentadores.
- **Electricidad:** La tecnología actual con evaporadores que deben alcanzar temperaturas de más de 60° centígrados, mientras que la tecnología propuesta trabaja a temperatura ambiente, por lo tanto se disminuirían los costos de energía.

Se asume que los costos de la tecnología actual se pueden disminuir en un 50%, este valor es un supuesto ya que el análisis se realizó con datos aproximados.

- **Variación IPC**

Teniendo en cuenta la información suministrada por la ingeniera encargada de una planta de destilería de un ingenio de la región, se utiliza el IPC para calcular la proyección de los costos operacionales asociados a la tecnología actual.

Se obtuvieron datos históricos en la página web del DANE y con éstos se realizó el análisis de distribución. Ver anexo D

- **Tasa de impuestos:**

La tasa de impuestos es la actual establecida por el gobierno colombiano la cual es del 33%

- **Tasa mínima de retorno de los ingenios**

Para establecer la tasa mínima de retorno de los ingenios en este tipo de proyectos, se consultó directamente con un ingenio de la región la cual se estableció en un 21% anual. Esta tasa fue utilizada para hallar el VPN del proyecto

- **Regalías**

Las regalías son un mecanismo compartido de ingresos entre el licenciante y el licenciario y puede ser representado por un porcentaje sobre las ventas o sobre las utilidades. Las regalías se pagan generalmente durante todo el período de validez de la patente, el cual en Colombia es de 20 años.

Para el pago de las regalías se suele alcanzar un acuerdo cuando todas las partes pueden obtener beneficios de la patente. Para este caso en particular la regalía que la industria debe pagar a la Universidad se estableció en el 6% de los ingresos marginales puesto que el ahorro en costos no es tan determinante, además el proceso se encuentra en el desarrollo de una planta piloto, no se ha establecido el ciclo del vida y el mercado potencial de esta nueva tecnología. A continuación se muestra el valor que el ingenio debe pagar a la Universidad por el tiempo en que se realizó el análisis del proyecto (10 años).

Periodo	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Pago Regalías Universidad (Millones de Pesos)	\$ 334,6	\$ 340,3	\$ 346,1	\$ 351,9	\$ 357,9	\$ 364,0	\$ 370,2	\$ 376,5	\$ 382,9	\$ 389,4	\$ 396,1

En el caso que la patente se licencie la universidad recibirá estos pagos por parte de un solo ingenio, si la tecnología se puede transferir a las destilerías de Colombia y de otros países los ingresos para la universidad serían mucho mayores.

Según los parámetros establecidos y la información obtenida se procedió a calcular el flujo de caja del proyecto, con el cual se obtuvo el VPN y la TIR, para así posteriormente realizar la valoración por opciones reales.

A continuación se muestran los resultados obtenidos con los valores determinísticos, para proceder con la simulación.

## 5.5.2 Estructura de Ingresos

**Cuadro 2. Estructura de ingresos**

Periodo	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Precio azúcar crudo (US\$cents/lb)	18,84	19,16	19,49	19,82	20,16	20,50	20,85	21,20	21,56	21,93	22,30
Precio etanol	8.223	8.223	8.223	8.223	8.223	8.223	8.223	8.223	8.223	8.223	8.223
Aumento productividad (galones de etanol)	713.342	713.342	713.342	713.342	713.342	713.342	713.342	713.342	713.342	713.342	713.342
Ingreso Marginal (Millones de Pesos)	\$ 5.865,7	\$ 5.865,7	\$ 5.865,7	\$ 5.865,7	\$ 5.865,7	\$ 5.865,7	\$ 5.865,7	\$ 5.865,7	\$ 5.865,7	\$ 5.865,7	\$ 5.865,7

Fuente: Elaboración propia

### 5.5.3 Estructura de Costos

**Cuadro 3. Estructura de Costos**

AHORROS POR CAMBIO DE TECNOLOGÍA											
Periodo	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Costos concentracion vinaza (Millones de Pesos)	\$ 14,04	\$ 14,46	\$ 14,89	\$ 15,34	\$ 15,80	\$ 16,27	\$ 16,76	\$ 17,26	\$ 17,78	\$ 18,31	\$ 18,86
<b>TOTAL (Millones de Pesos)</b>	<b>\$ 14,04</b>	<b>\$ 14,46</b>	<b>\$ 14,89</b>	<b>\$ 15,34</b>	<b>\$ 15,80</b>	<b>\$ 16,27</b>	<b>\$ 16,76</b>	<b>\$ 17,26</b>	<b>\$ 17,78</b>	<b>\$ 18,31</b>	<b>\$ 18,86</b>
COSTOS DE LA NUEVA TECNOLOGÍA											
Periodo	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Costos operacionales (Millones de Pesos)	\$ 22,10	\$ 22,76	\$ 23,45	\$ 24,15	\$ 24,87	\$ 25,62	\$ 26,39	\$ 27,18	\$ 28,00	\$ 28,84	\$ 29,70
Pago Regalias Universidad (Millones de Pesos)	\$ 334,6	\$ 340,3	\$ 346,1	\$ 351,9	\$ 357,9	\$ 364,0	\$ 370,2	\$ 376,5	\$ 382,9	\$ 389,4	\$ 396,1
<b>Costo Total (Millones de Pesos)</b>	<b>\$ 356,7</b>	<b>\$ 363,0</b>	<b>\$ 369,5</b>	<b>\$ 376,1</b>	<b>\$ 382,8</b>	<b>\$ 389,6</b>	<b>\$ 396,6</b>	<b>\$ 403,7</b>	<b>\$ 410,9</b>	<b>\$ 418,3</b>	<b>\$ 425,8</b>

Fuente: Elaboración propia

### 5.5.4 Estado de Resultados

**Cuadro 4. Estado de resultados**

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
INGRESOS		\$ 5.590,2	\$ 5.685,5	\$ 5.782,5	\$ 5.881,0	\$ 5.981,3	\$ 6.083,3	\$ 6.187,0	\$ 6.292,5	\$ 6.399,8	\$ 6.509,0
COSTOS		\$ 356,7	\$ 363,0	\$ 369,5	\$ 376,1	\$ 382,8	\$ 389,6	\$ 396,6	\$ 403,7	\$ 410,9	\$ 418,3
<b>EBITDA</b>		<b>\$ 5.233,6</b>	<b>\$ 5.322,5</b>	<b>\$ 5.413,0</b>	<b>\$ 5.505,0</b>	<b>\$ 5.598,5</b>	<b>\$ 5.693,7</b>	<b>\$ 5.790,4</b>	<b>\$ 5.888,8</b>	<b>\$ 5.988,9</b>	<b>\$ 6.090,7</b>
DEPRECIACION Y AMORTIZACION		\$ 654,7	\$ 654,7	\$ 654,7	\$ 654,7	\$ 654,7	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>EBIT</b>		<b>\$ 4.578,8</b>	<b>\$ 4.667,8</b>	<b>\$ 4.758,2</b>	<b>\$ 4.850,2</b>	<b>\$ 4.943,8</b>	<b>\$ 5.693,7</b>	<b>\$ 5.790,4</b>	<b>\$ 5.888,8</b>	<b>\$ 5.988,9</b>	<b>\$ 6.090,7</b>
UAI		\$ 4.578,8	\$ 4.667,8	\$ 4.758,2	\$ 4.850,2	\$ 4.943,8	\$ 5.693,7	\$ 5.790,4	\$ 5.888,8	\$ 5.988,9	\$ 6.090,7
IMPUESTOS		\$ 1.511,0	\$ 1.540,4	\$ 1.570,2	\$ 1.600,6	\$ 1.631,4	\$ 1.878,9	\$ 1.910,8	\$ 1.943,3	\$ 1.976,3	\$ 2.009,9
<b>UDI</b>		<b>\$ 3.067,8</b>	<b>\$ 3.127,4</b>	<b>\$ 3.188,0</b>	<b>\$ 3.249,6</b>	<b>\$ 3.312,3</b>	<b>\$ 3.814,8</b>	<b>\$ 3.879,6</b>	<b>\$ 3.945,5</b>	<b>\$ 4.012,6</b>	<b>\$ 4.080,8</b>
(Valores dados en Millones de Pesos)											

Fuente: Elaboración propia

### 5.5.5 Balance General

**Cuadro 5. Balance General**

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
<b>ACTIVOS</b>											
Propiedad, planta y equipo	\$ 3.273,7	\$ 2.619,0	\$ 1.964,2	\$ 1.309,5	\$ 654,7	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Disponibles	\$ -	\$ 3.722,5	\$ 7.504,7	\$ 11.347,4	\$ 15.251,8	\$ 19.218,9	\$ 23.033,6	\$ 26.913,2	\$ 30.858,7	\$ 34.871,3	\$ 38.952,1
Inversion en capital de trabajo	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>TOTAL ACTIVOS</b>	<b>\$ 3.273,7</b>	<b>\$ 6.341,5</b>	<b>\$ 9.468,9</b>	<b>\$ 12.656,9</b>	<b>\$ 15.906,6</b>	<b>\$ 19.218,9</b>	<b>\$ 23.033,6</b>	<b>\$ 26.913,2</b>	<b>\$ 30.858,7</b>	<b>\$ 34.871,3</b>	<b>\$ 38.952,1</b>
	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>PATRIMONIO</b>											
Capital Social	\$ 3.273,7	\$ 3.273,7	\$ 3.273,7	\$ 3.273,7	\$ 3.273,7	\$ 3.273,7	\$ 3.273,7	\$ 3.273,7	\$ 3.273,7	\$ 3.273,7	\$ 3.273,7
Utilidad del periodo	\$ -	\$ 3.067,8	\$ 3.127,4	\$ 3.188,0	\$ 3.249,6	\$ 3.312,3	\$ 3.814,8	\$ 3.879,6	\$ 3.945,5	\$ 4.012,6	\$ 4.080,8
Revalorizacon Patrimonio	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Reserva legal	\$ -	\$ -	\$ 3.067,8	\$ 6.195,2	\$ 9.383,2	\$ 12.632,8	\$ 15.945,2	\$ 19.759,9	\$ 23.639,5	\$ 27.585,0	\$ 31.597,6
<b>TOTAL PATRIMONIO</b>	<b>\$ 3.273,7</b>	<b>\$ 6.341,5</b>	<b>\$ 9.468,9</b>	<b>\$ 12.656,9</b>	<b>\$ 15.906,6</b>	<b>\$ 19.218,9</b>	<b>\$ 23.033,6</b>	<b>\$ 26.913,2</b>	<b>\$ 30.858,7</b>	<b>\$ 34.871,3</b>	<b>\$ 38.952,1</b>
	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>PASIVO+PATRIMONIO</b>	<b>\$ 3.273,7</b>	<b>\$ 6.341,5</b>	<b>\$ 9.468,9</b>	<b>\$ 12.656,9</b>	<b>\$ 15.906,6</b>	<b>\$ 19.218,9</b>	<b>\$ 23.033,6</b>	<b>\$ 26.913,2</b>	<b>\$ 30.858,7</b>	<b>\$ 34.871,3</b>	<b>\$ 38.952,1</b>
	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>PRUEBA DE BALANCE</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>
(Valores dados en Millones de Pesos)											

Fuente: Elaboración propia

## 5.5.6 Flujo de Caja

**Cuadro 6. Flujo de Caja**

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
FLUJO DE CAJA BRUTO		\$ 3.722,5	\$ 3.782,1	\$ 3.842,7	\$ 3.904,4	\$ 3.967,1	\$ 3.814,8	\$ 3.879,6	\$ 3.945,5	\$ 4.012,6	\$ 4.080,8
REQUERIMIENTO DE CAPITAL DE TRABAJO											
INVERSION EN CAPITAL DE TRABAJO											
VENTA DEL ACTIVO (FLUBEX)	\$ 0,0										
INVERSIÓN EN ACTIVO	-\$ 3.273,7										
FLUJO DE CAJA LIBRE	-\$ 3.273,7	\$ 3.722,5	\$ 3.782,1	\$ 3.842,7	\$ 3.904,4	\$ 3.967,1	\$ 3.814,8	\$ 3.879,6	\$ 3.945,5	\$ 4.012,6	\$ 4.080,8
<b>VALOR DE CONTINUIDAD</b>	\$ 2.539,3										
<b>VALOR PRESENTE NETO (VPN)</b>	\$ 11.819,2										
<b>VALOR PRESENTE</b>	\$ 14.359										
<b>TIR</b>	115%										
<small>(Valores dados en Millones de Pesos)</small>											

**Fuente:** Elaboración propia

Continuando con el esquema de análisis, se procedió a simular el modelo utilizando la herramienta **Cristal Ball®**<sup>93</sup>, la cual está soportada por los procesos de simulación de Monte Carlo, para ello se definieron las variables de entrada y salida del proyecto.

## 5.5.7 Variables de entrada

Teniendo en cuenta la información suministrada por los expertos y los datos investigados, se identificaron como variables críticas del modelo:

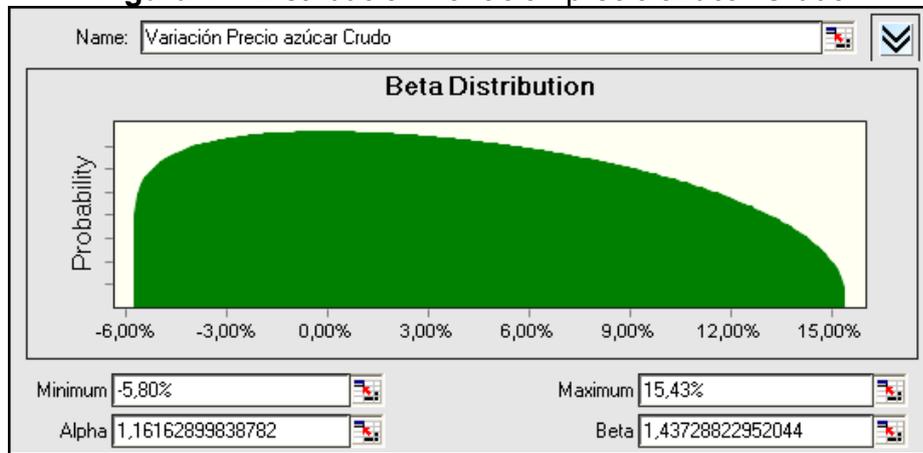
- Precio azúcar crudo
- Demanda Azúcar crudo
- Tasa representativa del mercado TRM
- Aumento de productividad
- Variación IPC

A cada una de estas variables se les asoció una función de distribución, se utilizó la prueba de bondad de ajuste *Anderson-Darling*. Las funciones de distribución fueron obtenidas a partir de los datos históricos de cada una de las variables, éstas fueron ingresadas al programa **Cristal Ball®**, arrojando los siguientes resultados. Ver Anexo F.

<sup>93</sup> Se utilizó la versión de prueba Oracle Crystal Ball, descarga gratuita. En: [http://www.oracle.com/technology/software/products/bi/performance-management/111130/crystalball\\_111130.html](http://www.oracle.com/technology/software/products/bi/performance-management/111130/crystalball_111130.html)

- **Variación precio azúcar crudo**

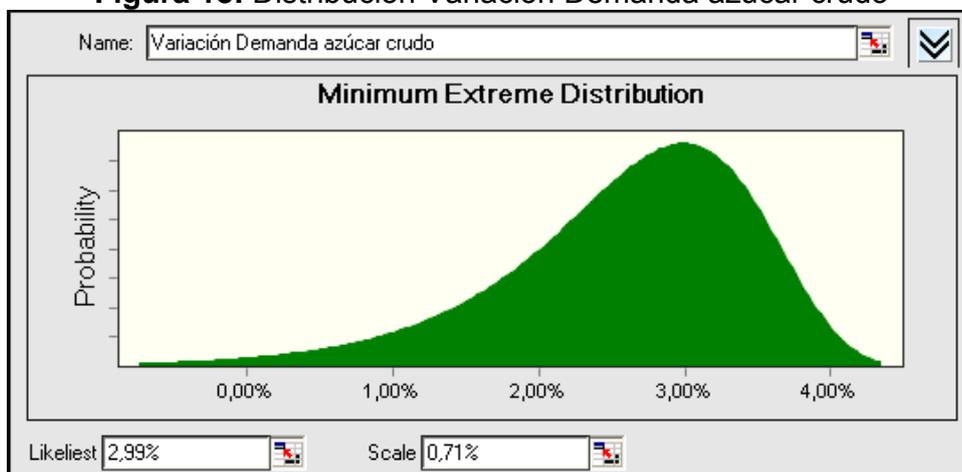
**Figura 17:** Distribución Variación precio azúcar Crudo



Se ingresaron los datos históricos de la variación del precio del azúcar crudo al programa, la distribución que se obtuvo a partir de estos datos es una **distribución Beta** con un **mínimo**= -5.80%, **máximo**= 15.43%, **alpha**= 1.16 y **beta**= 1.43. Ver Anexo F

- **Variación Demanda Azúcar crudo**

**Figura 18:** Distribución Variación Demanda azúcar crudo

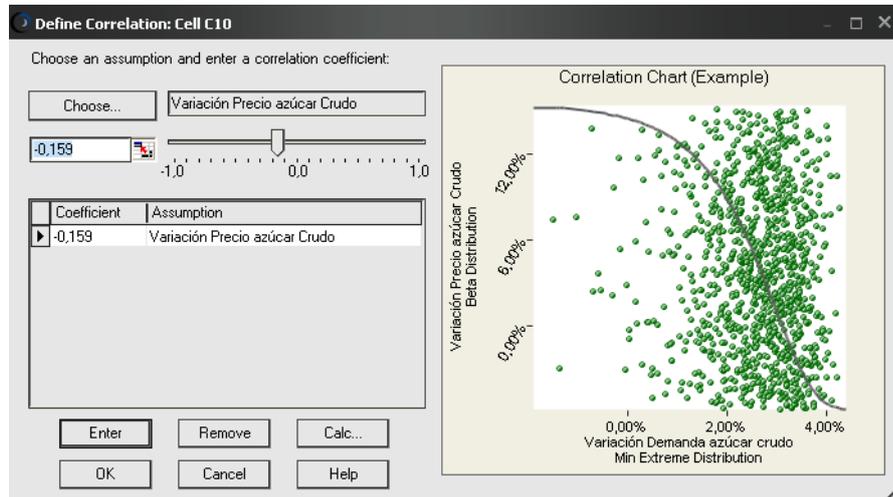


Los datos históricos de la variación de la demanda del azúcar crudo arrojaron una **distribución Mínimo Extremo** con un **Likeliest**= 2.99% y una **Escala** = 0.71%. Ver Anexo F

Como se mencionó anteriormente, la variación de la demanda de azúcar crudo y la variación del precio del azúcar presentan una relación inversa, se

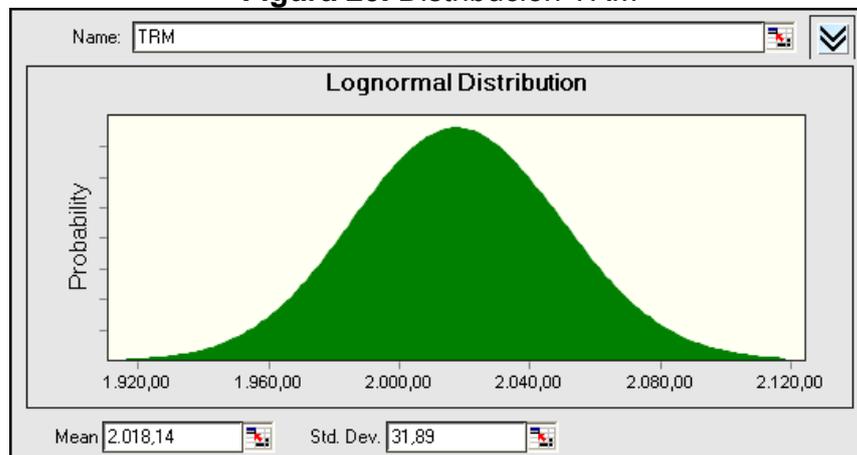
ingresó la correlación entre estas dos variables al programa. Ésta se muestra en la figura 19.

**Figura 19.** Correlación Variaciones demanda-precio azúcar crudo



- Tasa representativa del mercado TRM

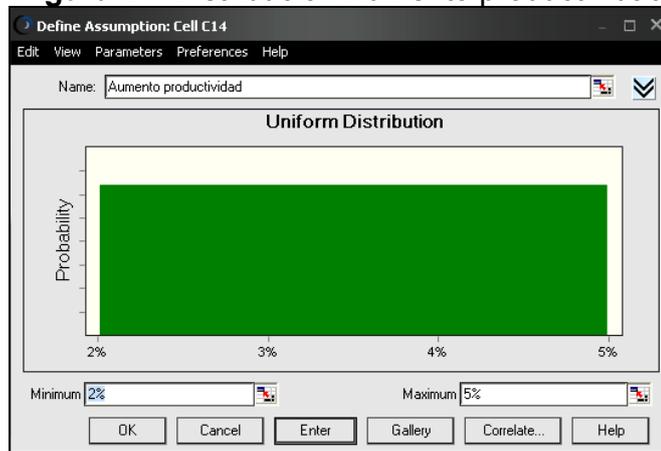
**Figura 20.** Distribución TRM



Con los datos históricos de la TRM se obtuvo una **distribución Lognormal** con **media= 2.018,14** y **desviación= 31,89**. Ver Anexo F

- **Aumento de productividad**

**Figura 21.** Distribución Aumento productividad

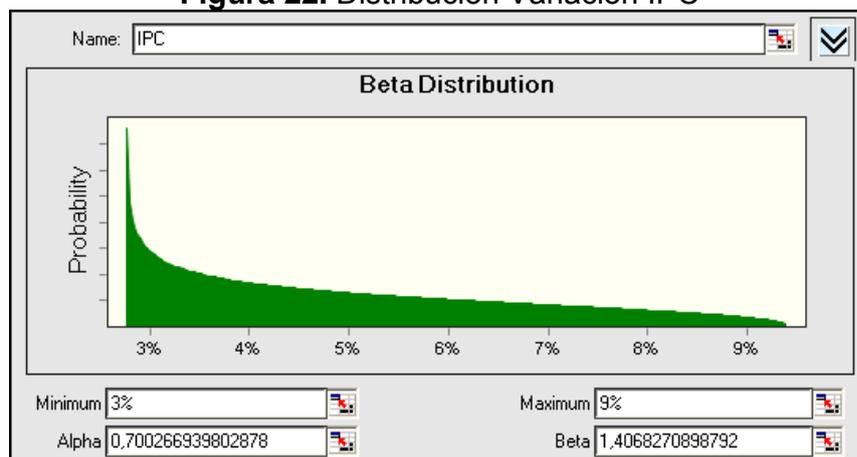


Según los datos obtenidos por los expertos el aumento de la productividad puede variar entre el 2% y el 5%. Se asignó una distribución uniforme ya que se asume que tienen la misma probabilidad de ocurrencia. Ver Anexo F

- **Variación IPC**

Con los datos históricos se obtuvo una distribución **Beta** con **mínimo= 3%**, **máximo= 9%**, **alpha= 0,70**, **beta= 1,40**. Ver Anexo F

**Figura 22.** Distribución Variación IPC



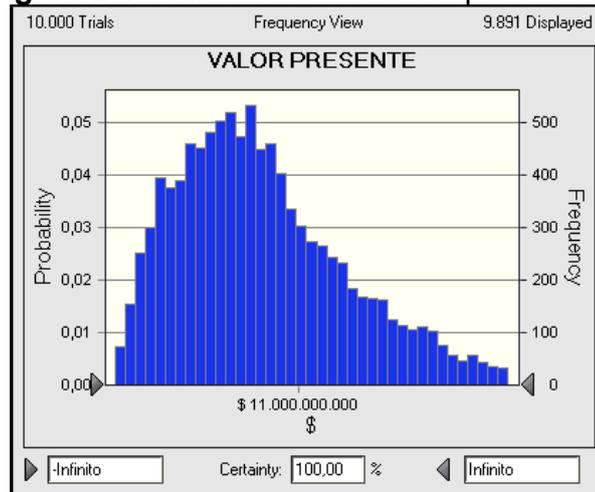
### 5.5.8 Variables de salida

Las variables de salida del modelo se basaron en los criterios de decisión que se utilizan para definir la factibilidad de proyectos de inversión. Se

asumió como variable de salida el VPN el cual fue calculado a partir del flujo de caja del proyecto.

A continuación se muestran los resultados obtenidos con la simulación realizada y su posterior análisis.

**Figura 23.** Gráfico de frecuencias para el VPN



**Cuadro 7.** Estadísticas VPN

Forecast: VALOR PRESENTE	
10.000 Trials Statistics View	
Statistic	Forecast values
Trials	10.000
Mean	\$ 9.253.794.565
Median	\$ 8.573.071.615
Mode	...
Standard Deviation	\$ 4.274.742.244
Variance	\$ 18.273.421.256
Skewness	0,7879
Kurtosis	3,28
Coeff. of Variability	0,4619
Minimum	\$ 1.993.120.947
Maximum	\$ 25.177.692.056
Mean Std. Error	\$ 42.747.422

A partir de las figuras anteriores se puede observar lo siguiente:

El proyecto presenta un valor presente neto promedio de **\$9.253.794.565** con una desviación estándar de **\$4.274.742.244**, la cual representa una gran incertidumbre. El rango del VPN es de **\$1.993.120.947** hasta **\$25.177.692.056**. Estos valores pueden sufrir grandes alteraciones ya que los datos estimados están dados bajo un escenario optimista.

Hay que tener en cuenta que la rentabilidad de este proyecto está directamente relacionada con la inversión inicial la cual es de **\$3.273.717.603** a mayores niveles de inversión este proyecto podría no ser factible. Este valor de la inversión es una variable de gran incertidumbre porque la tecnología no se ha implementado a nivel industrial, este dato es calculado a partir de información que estimaron los expertos de la Universidad para una planta piloto.

Para verificar en qué nivel de inversión el proyecto genera un VPN igual a 0 se utilizó la herramienta “Buscar objetivo” de Excel, con la cual se obtuvo los siguientes resultados que se muestran en el cuadro 8:

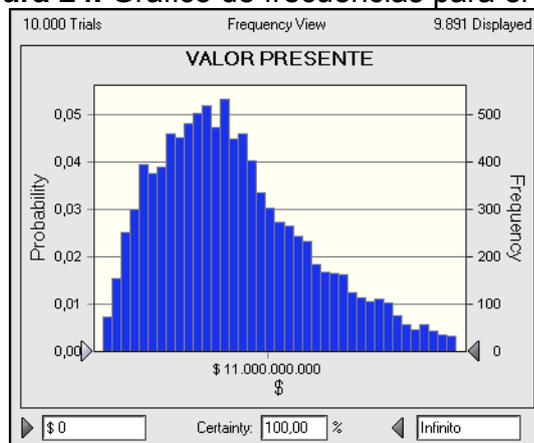
**Cuadro 8.** Simulación Variable de Inversión

CAMBIO DE TECNOLOGÍA DEL INGENIO	
Inversión	\$ 20.978.470.552

Con el anterior análisis se puede concluir que a un nivel de inversión mayor a \$20.978.470.552 el proyecto no es rentable para el inversionista. Cabe resaltar que no se conoce con exactitud el tamaño de inversión inicial del proyecto, por lo tanto es necesario realizar investigaciones con apoyo de los ingenios y de esta forma llegar a conocer todas las variables que pueden afectar el proyecto.

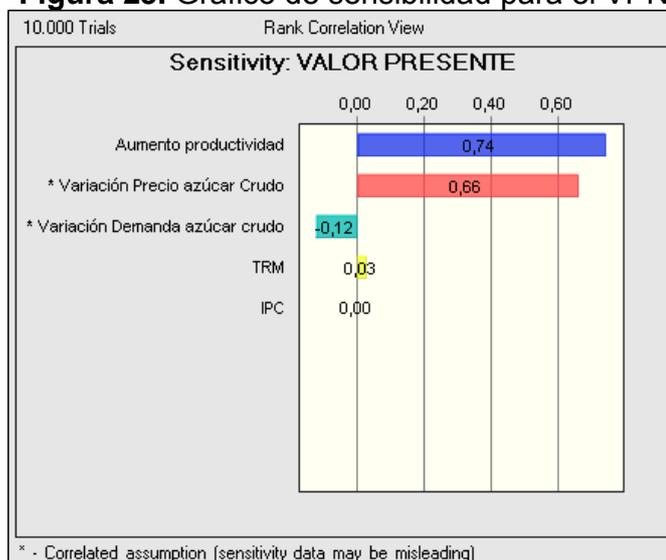
La siguiente figura 24 muestra que el proyecto tiene una probabilidad del 100% de tener un VPN positivo, proyecto factible. El proyecto puede estar sobrevalorado debido a que los investigadores estiman los beneficios bajo un escenario muy optimista, en el cual el aumento de la productividad tiene una relación directa con la factibilidad del proyecto.

**Figura 24.** Gráfico de frecuencias para el VPN



Se realizó un análisis de sensibilidad con los datos obtenidos los cuales permiten identificar el impacto de las diferentes variables de entrada frente a los resultados simulados de las variables de salida.

**Figura 25.** Gráfico de sensibilidad para el VPN



Este análisis de sensibilidad muestra que la variable más relevante es el aumento de la productividad, esto se debe a que esta variable ha sido estimada según el juicio de los expertos que realizaron la tecnología, la cual ha sido probada solo a nivel de laboratorio. La variación del precio del azúcar crudo es la siguiente variable con más relevancia del proyecto, está directamente relacionada con el precio del etanol el cual se fija por medio de una fórmula establecida por el gobierno. Luego se encuentra la TRM, IPC y variación demanda azúcar crudo. Con este análisis se pueden concentrar los esfuerzos en aquellas variables determinantes del proyecto, por el alto nivel de incertidumbre que generan. Se puede concluir que la rentabilidad del proyecto está directamente relacionada con los ingresos que generará a partir del aumento de productividad y no tanto por la disminución de los costos operacionales de la tecnología actual.

A partir de los datos obtenidos con la simulación se procede a realizar la valoración con opciones reales.

## 5.6 Valoración con Opciones Reales

Siguiendo con la metodología propuesta por Dumrauf (2003), luego de calcular el valor presente de los flujos de caja que generará el proyecto, se procede a la construcción del árbol de eventos. Teniendo en cuenta el flujo de caja que se realizó, el valor del activo subyacente (S) es igual a

**\$16.375.300.835,14.** Este valor es igual al valor presente neto de los futuros flujos de caja, el flujo de caja se calcula de la siguiente forma: ingresos-costos+depreciaciones-impuestos<sup>94</sup>. Ver Anexo G

La desviación estándar del VPN es de **\$4.274.742.244.** Al cabo del primer año su valor puede ser **\$20.650.043.079,14** o de **\$ 12.100.558.591,14** lo que implica los siguientes coeficientes de ascenso y descenso:

$$u = \$20.650.043.079,14 / \$16.375.300.835,14$$

$$u = 1,2610$$

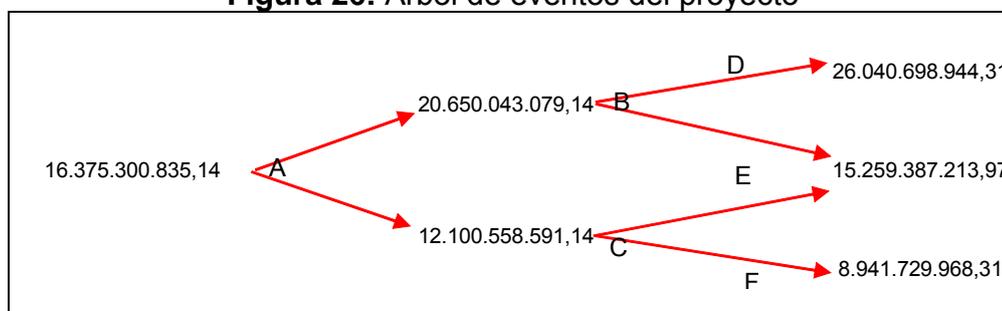
$$d = \$ 12.100.558.591,14 / \$16.375.300.835,14$$

$$d = 0,7390$$

Este proyecto presenta una alta incertidumbre acerca de sus futuros flujos de caja, por lo tanto los ingenios no van a invertir apresuradamente esta gran cantidad de dinero que es irreversible por lo tanto ellos tienen la opción de esperar a que la incertidumbre disminuya y de esta forma decidir si se invierte o no. Esta opción es equivalente a la opción de compra europea.

La figura 26 muestra el árbol de eventos del proyecto, teniendo en cuenta los coeficientes de alza y baja, calculados a partir de la desviación estándar obtenida de la simulación.

**Figura 26: Árbol de eventos del proyecto**



**Fuente:** Elaboración propia

El tercer paso es el diseño del árbol de decisión. En la evaluación de la opción se utilizará la metodología de la neutralidad ante el riesgo, en Colombia la tasa de interés libre de riesgo es la que otorgan los Títulos de Tesorería (TES) del Gobierno o la de los Bonos del Tesoro de Estados Unidos.

Ahora calculamos los valores de la probabilidad de ascenso y descenso en un mundo neutral ante el riesgo:

<sup>94</sup> PABÓN. Op. Cit., p. 108

$$p = (1+rf) \cdot d / (u-d) = 58,83\%$$

$$1-p = 41,17\%$$

El precio del ejercicio no se presenta en un solo momento en el tiempo sino que es la suma de las inversiones antes y después de implementar el proyecto, por lo tanto para este caso de estudio se tuvo en cuenta además de la inversión inicial el valor presente neto de los costos operacionales<sup>95</sup>. Ver Anexo H

La siguiente tabla muestra el resumen de los datos calculados.

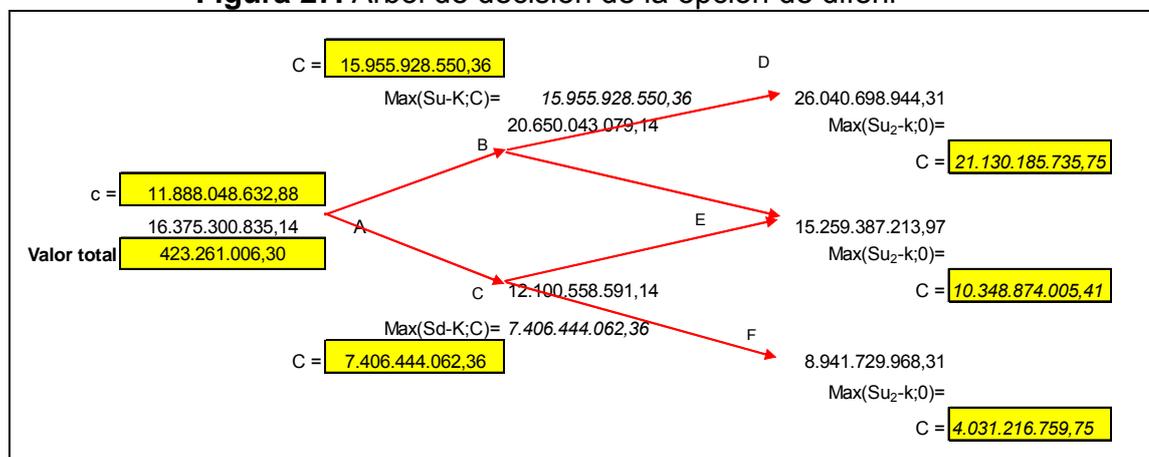
**Cuadro 9. Resumen de datos**

Precio del Ejercicio (K <sub>0</sub> )	\$ 4.910.513.208,56
Valor activo subyacente (S)	\$ 16.375.300.835,14
Desviación Estándar	\$ 4.274.742.244,00
Tasa Libre de riesgo (rf)	4,61%
Coficiente de alza (u)	1,2610
Coficiente de baja (d)	0,7390
Probabilidad de alza (p)	0,5883
Probabilidad de baja (1 - p)	0,4117

Fuente: Elaboración propia

En la **figura 27** se muestra el árbol de decisión de la opción de diferir el proyecto dos años.

**Figura 27. Árbol de decisión de la opción de diferir**



Fuente: Elaboración propia

El valor del proyecto en los nodos terminales se calcula a través de la maximización entre ejecutar la inversión y diferir si el costo (valor de la inversión) excede al beneficio de su ejecución (flujo de caja esperado)<sup>96</sup>.

<sup>95</sup> PABÓN. Op. Cit., p. 126

<sup>96</sup> MASCAREÑAS, Juan. Ejercicios sobre opciones reales en la valoración de proyectos de inversión. Universidad Complutense de Madrid. 2008.

### **Cálculo del valor de la opción asumiendo neutralidad ante el riesgo:**

$$C = \frac{p \times cu + (1 - p) \times cd}{(1 + rf)}$$

Nodo B:

C= 15.955.928.550,36

Nodo C:

C= 7.406.444.062,36

Finalmente calculamos el valor de la opción en el nodo A.

Nodo A:

C= 423.261.006, 30

El valor de la opción de diferir es igual a \$423.261.006, 30

Esto significa que el Ingenio puede pagar este valor de la opción de diferir y esperar dos años cuando la incertidumbre disminuya, esto es cuando ya exista una planta piloto la cual arroje resultados positivos que aseguren que a escala industrial la tecnología será un éxito, y de esta forma el Ingenio limita la pérdida.

### **5.7 Consideraciones finales del caso estudio**

Según lo observado la realización del proyecto dentro de las plantas de etanol de los ingenios azucareros es viable desde la perspectiva en que la inversión inicial no supere lo establecido según el análisis del escenario.

Es de gran importancia realizar un mejor estudio por parte de los investigadores de la Universidad para poder identificar todas las variables que están directamente relacionadas a la valoración del proyecto. Para esta etapa se hace necesario poder contar con el apoyo de la industria con la cual se fortalezca el vínculo entre la universidad y las diferentes empresas de la región.

También es necesario identificar el verdadero mercado potencial de la tecnología, ya que este proceso se puede aplicar a otro tipo de industrias como las empresas que trabajan con levaduras, en la cual el proceso de estudio de las variables que influyen en el proyecto puede ser más detallado y menos complejo comparándolo con las destilerías.

Para el caso de la Universidad del Valle se puede presentar varias opciones como: 1) Conseguir una empresa que cofinancie la planta piloto y compartir

los resultados de investigación (la patente). 2) Realizar el proceso sola y vender o licenciar los derechos a varios ingenios a nivel nacional como también de Brasil y otros.

Este proyecto de investigación representa una gran oportunidad si se logra seguir con su investigación para una posterior aplicación al mercado. El consumo de etanol en el mundo está creciendo, por las políticas gubernamentales que tienden a aumentar la mezcla alcohol-gasolina. Bajo este escenario un aumento en la producción de etanol se traduce en un aumento en la cantidad de vinaza producida. Por esta razón la valoración de la tecnología es de gran importancia para su posterior comercialización en el mercado potencial, ya que esta representa una tecnología alternativa para el tratamiento de las vinazas.

## 6. CONCLUSIONES

El desarrollo de nuevas tecnologías de proceso representa para el sector industrial un gran potencial para la solución de los problemas que enfrentan al hacer parte de un mercado cada vez más competitivo. De esta forma la innovación debe iniciar con un proceso de investigación en donde se pueda identificar las necesidades que existen y a partir de éstas llegar a un resultado exitoso que se traduce en la transferencia de la nueva tecnología de proceso o producto a las empresas.

Es importante tener en cuenta que durante el desarrollo de nuevos conocimientos por parte de la universidad, se debe evidenciar un mayor trabajo de campo, en el que se identifique claramente las necesidades del mercado, haciendo más eficiente la comunicación con los sectores económicos y el desarrollo de la investigación sea manifestado en resultados hacia las operaciones empresariales, eficiencias en las ciudades y competitividad en los países.

Por parte de la empresa se debe vincular de manera más fuerte los departamentos de I+D con las universidades (creación de Spin Off universitarios), aprovechar las líneas de investigación que ofrece el mercado universitario para resolver las debilidades y amenazas que enfrentan las organizaciones y poder generar a partir de la innovación y la investigación ventajas competitivas.

Durante el desarrollo del caso de estudio se evidenció la falta de una adecuada relación entre la Universidad y el sector industrial ya que la problemática planteada con la nueva tecnología no se encontraba direccionada hacia los beneficios que espera el ingenio y la factibilidad de realizar un cambio de proceso de este tipo en las distintas destilerías del país. Esto se debe en gran medida a que el proyecto aún se encuentra en su etapa de I+D y los investigadores no han tenido en cuenta todas las variables de decisión que influyen en el proyecto por la falta de una relación (asociación) con el sector industrial.

Por esta razón la información obtenida por parte del sector (Ingenio) y los investigadores corresponde a datos aproximados, estos valores pueden sufrir alteraciones en el momento en que se pueda construir una planta piloto la cual arrojará resultados más aproximados a un nivel industrial. El trabajo de campo fue una etapa primordial ya que se identificaron elementos importantes los cuales eran fundamentales para poder realizar la valoración económica.

Dado el caso que la tecnología se pueda implementar a nivel industrial y que sea superior que las tecnologías existentes, el proceso propuesto no sólo implica grandes mejoras en el tratamiento de la vinaza y por ende beneficios

a las empresas, sino también a la universidad por los ingresos de la venta y comercialización de la patente. Cabe resaltar que para poder obtener los resultados esperados los investigadores deben buscar apoyo en el mercado potencial, no sólo las destilerías sino también en las empresas cuyo residuo sea la vinaza. En este sentido y teniendo en cuenta que el proceso se encuentra en una primera etapa de estudio, la industria podría intervenir aportando recursos a la investigación para avanzar y alcanzar el nivel tecnológico necesario para realizar la transferencia tecnológica al sector industrial.

Para el desarrollo de la valoración de esta nueva tecnología la simulación fue un instrumento muy útil para manejar la gran incertidumbre que se presentaba en las variables de entrada, ésta proporcionó más elementos de juicio los cuales permiten tener una visión más clara al momento de tomar la decisión de invertir o no.

Los resultados de “probabilidad de factibilidad” que arrojó la simulación muestran que el proyecto tiene una probabilidad muy alta de ser factible. Aunque este resultado es positivo se debe tener en cuenta que el proyecto puede estar sobrevalorado debido a que los investigadores estiman los beneficios bajo un escenario muy optimista, en el cual el supuesto del aumento de la productividad tiene una relación directa con la factibilidad del proyecto. A partir de este análisis se afirma el hecho de que hay que concentrar los esfuerzos de investigación y optimización de los datos para poder obtener un valor con menos incertidumbre (más aproximado a nivel industrial).

La incorporación de la valoración de opciones reales ha ofrecido la flexibilidad de tener en cuenta el momento idóneo para realizar el proyecto y de esta forma reducir las pérdidas, ya que el medio en se desarrolla éste es incierto y se encuentra en continuo cambio. Esta incertidumbre se debe en gran medida a las variables como el precio del azúcar crudo que posee una alta variación y es determinante para la factibilidad del proyecto, está directamente relacionada con los ingresos. La opción de diferir me da la oportunidad de postergar la inversión hasta cuando las condiciones sean más favorables. Por lo tanto las opciones han agregado valor al proyecto, el valor de la flexibilidad de tomar decisiones y específicamente en los proyectos de I+D se pueden presentar opciones de abandono, de diferir y de crecimiento.

El cálculo del valor del activo subyacente y del precio del ejercicio se realizó a partir de los futuros flujos de caja estimados para el proyecto. En este caso en donde la tecnología es nueva es muy difícil predecir los valores que pueden estimarse a partir de las variables como precio, costos y demandas, ya que siendo una innovación no es fácil encontrar en el mercado algo que se parezca y es por ello que es de suma importancia utilizar herramientas de

simulación. Esto demuestra que las opciones reales no reemplazan las metodologías tradicionales y de simulación, sino que las complementa.

Como conclusión final el desarrollo de este proyecto de valoración demuestra la capacidad de investigación e innovación de la universidad y los beneficios económicos que se pueden brindar a los diferentes sectores de la economía regional y nacional. Éstos ayudan a fortalecer el crecimiento de la economía, en la cual la innovación juega un papel fundamental en la competitividad global. Además es una oportunidad para la Universidad de obtener beneficios económicos por parte de la venta de patentes, que en últimas se traducen en mayores recursos para la misma investigación y en un crecimiento sostenible de la universidad.

## BIBLIOGRAFÍA

ARANGO J., Luis Enrique. Foro Universidad-Empresa-Estado. Medellín, 24 Abril 2008.

BETANCOURT, Luis Andrés. Descripción tecnológica de la cadena productora de bioetanol en Colombia a partir de caña de azúcar. En: Boletín Informativo de Gestión del Conocimiento. Universidad del Valle-Colciencias. No. 5. Marzo 2009

BOER, F Peter; the Valuation of Technology: Business and Financial Issues in R&D. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1999.

BONACCORSI, A. and PICCALUGA, A. (1994) "A Theoretical Framework for the Evaluation of University-Industry Relationships". R&D Management, Vol. 24(3).

BUSINESS WEEK. The 50 Most Innovative Companies 2009. Disponible en: <[http://bwnt.businessweek.com/interactive\\_reports/innovative\\_50\\_2009/?channel=magazine+channel\\_in%3A+inside+innovation](http://bwnt.businessweek.com/interactive_reports/innovative_50_2009/?channel=magazine+channel_in%3A+inside+innovation)> [citado en 1 de Junio de 2009]

CORTÉS M., Elkin Alonso. La gestión y transferencia tecnológica cruce de caminos entre universidad- empresa. 2008

COSTA S., José. Innovación y propiedad industrial. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2006.

DÁVILA R., Javier Andrés. ELECTRO-COAGULACIÓN/FLOTACIÓN/OXIDACIÓN DE VINAZAS DE DESTILERÍA. Cali 2008. 145 h. Tesis (Magister Ingeniería Química. Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.

DAMODARAN, Aswath. Investment Valuation: Tools and Techniques for Determining the Value of Any Asset. Second Edition. John Wiley & Sons Inc. 2002. Disponible en:  
□ <http://pretherhuman.net/texts/unsorted2/Stock%20books%20036/Mcgraw-Hill%20%20Brealey%20&%20Myers%20-%20Finance%20-%20Investment%20Valuation,%202nd%20Edition.pdf> □

EQUITY INVESTMENT S.A. Banca de Inversiones. Proyecto de Alcoholes Carburantes-Plan de Negocios. Febrero 2003

ESCORSA, Pere y PASOLA, Jaume Valls. Tecnología e Innovación en la empresa. Ediciones PUC. España. 2003.

GARCÍA CAMÚS, Juan Manuel y GARCÍA LABORDA, José Ángel. Informe de Vigilancia tecnológica. Biocarburantes líquidos: biodiesel y bioetanol. M-30985 2006. [en línea]  
□[http://www.madrimasd.org/informacionIDI/biblioteca/Publicacion/doc/VT/vt4\\_Biocarburantes\\_liquidos\\_biodiesel\\_y\\_bioetanol.pdf](http://www.madrimasd.org/informacionIDI/biblioteca/Publicacion/doc/VT/vt4_Biocarburantes_liquidos_biodiesel_y_bioetanol.pdf) □ [citado en 19 Agosto 2009]

GEISLER, E. and RUBINSTEIN, A. (1989) "University-Industry Relations: a Review of Major Issues". In: Link, A. N. & Tasse G. (editors). Cooperative Research and Development: the Industry-University-Government Relationship, Boston, MA, Kluwer Academic Publishers.

GRAHAM, J. and HARVEY, C.: "The theory and practice of corporate finance: evidence from the field ". *Journal of Financial Economics*. No. 60. 2001.

GUAJARDO T., Martin; AGUILERA V., Rosa y ANDALAF C., Alejandro. Evaluación socioeconómica de proyectos con el método de Opciones reales. En: Revista Ingeniera Industrial Año 7 No. 2 Segundo Semestre 2008.

Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología "Francisco José de Caldas"

JARAMILLO, Jorge. La gestión tecnológica y la relación universidad empresa. En: Revista UEE. Edición No.1. Enero 2008.

KARLSSON, Magnus. Commercialization of Research results in the United States. Swedish Institute for Growth Policy Studies, 2004.

Ley CONPES 2875 de 1995

LÓPEZ Damrauf, Guillermo. Finanzas Corporativas. Grupo Guía. Buenos Aires, Argentina. 2003

LÓPEZ Damrauf, Guillermo. Tendencias en valuación: 4 pasos para incluir el valor de las opciones reales.

MACAGNO, Eduardo. El papel de la universidad en el nuevo entorno. Revista UEE. Edición No. 1.

MACAREÑA, G. Análisis de la incorporación de flexibilidad en la evaluación de proyectos de inversión utilizando opciones reales y descuentos de flujo dinámico. Horizontes empresariales. p. 44

MANOTAS D., Diego Fernando y MANYOMA V., Pablo César. La evaluación de proyectos de Inversión mediante opciones Reales: aspectos

conceptuales. En: Revista Ingeniería y Competitividad Vol. 3 No. 1. Junio 2003.

Manual elaborado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE).

MARTÍNEZ DE CARRASQUERO, Cynthia; GONZÁLEZ GUTIÉRREZ, Marié y ROJAS DE MAVÁREZ, Ligibhter. Negociación y transferencia tecnológica en el proceso de vinculación universidad-sector productivo. Junio 2006.

MASCAREÑAS Juan; La valoración de proyectos de inversión productivos Universidad complutense de Madrid Septiembre 2001

MASCAREÑAS, Juan. Ejercicios sobre opciones reales en la valoración de proyectos de inversión. Universidad Complutense de Madrid. 2008.

MASCAREÑAS, Juan. Innovación Financiera: Aplicación para la gestión empresarial. Serie McGraw-Hill. Madrid, España. 1999.

MENDIZÁBAL, Guillermo Alexaindre. Las estrategias para la innovación tecnológica en Castilla y León. Valladolid, 2002. Tesis de Doctorado. Universidad de Valladolid. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Departamento de Economía Aplicada.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. Perspectivas Alimentarias. Análisis del Mercado Mundial. 2006. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/009/j7927s/j7927s11.htm> [citado en 18 febrero 2009]

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL. Manual para negociaciones de transferencias de tecnología. Viena, 1997.

PABÓN R, Anabella. Valoración de proyectos de I+D con opciones reales: Aplicación en un caso hipotético. Tesis de Maestría. 2007.

PÉREZ, M.; Martínez, A. (2003) "The development of university spin-offs: early dynamics of technology transfer and networking". Technovation 23 (10).

QUINTERO D. Rafael, CADENA S Silvio F. y BRICEÑO B Carlos O. Proyectos de Investigación sobre uso y manejo de Vinazas. Julio 24 de 2006

RAYMOND, S, and NICHOLS, R. (1996) "Partnerships linking Technology to Economic Growth: Case Experience from around the Globe". In: Linking Technology to Economic Growth and Development. New York Academy of Sciences. Diciembre 1996.

RAZGAITIS, Richard; Early-Stage Technologies: Valuation and Pricing. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1999.

RITTER, dos Santos M. (2005), "La Gestión de la Transferencia de Tecnología de la Universidad al Sector Productivo: Un Modelo para Brasil" Tesis de Doctorado en Ciencias de la Administración. Facultad de Contaduría y Administración. UNAM, México

RUIZ A., Daniel. Identificación y análisis de los mecanismos de financiación para proyectos cinematográficos en Colombia. 2008.

SCHUMPETER, Joseph Alois. 1935. Análisis del cambio económico. Ensayos sobre el ciclo económico. Ed. Fondo de cultura económica, México. Disponible en <<http://eumed.net/cursecon/textos/schump-cambio.pdf>> [citado en 1 de Junio de 2009]

SECRETARÍA DE PLANEACIÓN DE CUNDINAMARCA. La Gestión de la Innovación. [en línea] <<http://www.planeacion.cundinamarca.gov.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/la%20gestión%20de%20la%20innovación.pdf>> [citado en 1 de Agosto 2009]

SERASOLS, Crithian. Transferencia Tecnológica Empresa- Universidad: La nueva misión de las universidades" Mayo 2008.

SÓBOL, I. Lecciones Populares de Matemáticas: Método Monte Carlo. 2 ed. URSS: Editorial Mir, 1976.

SOLLEIRO, J.L. y LÓPEZ, R. (1994), "La experiencia reciente de vinculación universidad-empresa en México" en Plonski.

SOLLEIRO, Jose L.; RITTER DOS SANTOS, Elizabeth y ESCALANTE, Flor. En búsqueda de un sistema de prácticas para la vinculación exitosa de universidades y centros de I+D con el sector productivo.

STAL, E. (1998) "Centros de Investigación Cooperativa y las motivaciones de las empresas" XX Simposio de Gestión de la Innovación Tecnológica. São Paulo, SP. 17 a 20 de Noviembre.

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO. Cómo solicitar una patente. [en línea]. <[http://www.sic.gov.co/propiedad/Nuevas\\_Creaciones/Patentes/Archivos/Como\\_Patente.pdf](http://www.sic.gov.co/propiedad/Nuevas_Creaciones/Patentes/Archivos/Como_Patente.pdf)> [citado en 1 Agosto 2009]

TOGNATO, Carlo. Comercializar la tecnología generada desde las universidades: un reto institucional. Revista de Ingeniería Facultad de Ingeniería Universidad de los Andes. No. 21. Mayo, 2005.

VARELA, Jose. La simulación de Monte Carlo y la Gestión de la Incertidumbre en Proyectos de Inversión. Escuela de dirección de empresas

VESGA, Rafael. Innovación llegó para quedarse. En: Revista Dinero [en línea]. No. 10 (2007). Disponible en: <[http://www.dinero.com/wf\\_InfoArticulo.aspx?idArt=28779](http://www.dinero.com/wf_InfoArticulo.aspx?idArt=28779)> [citado en 1 de Mayo de 2009]

VIDAL, Fabio; Guía para Analizar Costos en Proyectos de Consultoría y Servicios. Primera Edición. Cali: Universidad del Valle-Facultad de Ingeniería, 2001.

VOSE, David. En: Model Assist for Crystal Ball. [SOFTWARE]. Risk Thinking, Ltd. Versión 2005. Russia : Vose Software, 2005 [referenciado el 20 de mayo de 2008], Chapter Model Design, Subchapter Introduction, Paragraph 2. Disponible para descarga en Internet: [http://www.vosesoftware.com/install\\_modelassist\\_cb.htm](http://www.vosesoftware.com/install_modelassist_cb.htm).

WEBSTER, A. (1994), "International evaluation of academic-industry relations: contexts and analysis", Science and Public Policy.

## ANEXOS

### ANEXO A

Preguntas realizadas por la Ingeniera encargada en un ingenio del Valle del Cauca a los expertos de la nueva tecnología.

1. Los electrodos están en contacto con la vinaza? Si es así habría que tener en cuenta el tipo de material a usar, esto por el carácter altamente corrosivo de la vinaza (el PH está entre 4.5-6.5 y la acidez volátil entre 1.000 y 2.000 ppm).

Los electrodos deben estar en contacto con la vinaza, esto es lo que permite la transferencia de iones desde el cátodo hacia el ánodo y la formación de complejos de hidróxido que facilitan la separación tanto por flotación como por sedimentación.

Debido a que el material del ánodo (electrodo de sacrificio) define la clase de complejos de hidróxidos formados (coagulantes) se puede utilizar aluminio, hierro o aceros de baja aleación. Sin embargo, por el hecho que el ánodo se consume, el hierro es el material más recomendado por ser menos costoso y, en segundo lugar, se recomienda el aluminio.

En el cátodo se puede utilizar cualquier material resistente a la corrosión como aceros inoxidables u otros materiales.

2. El proceso es continuo? Si es discontinuo, de que tamaño son los tanques y que tiempo de reacción se necesita? Necesitamos saber que área se requiere.

El proceso se estudió en operación discontinua, sin embargo, esta técnica se puede llevar a cabo de forma continua (esta parte la estamos investigando para ajustar la mejor configuración del equipo).

El tiempo del tratamiento es de aproximadamente 20-30 minutos en operación discontinua. Para la operación continua aun no tenemos datos.

3. Según dice el documento una parte del material sedimenta pero otra parte flota, como se separan las fases que se forman y cuál es la carga orgánica de las mismas. Esto con el fin de saber si requieren un proceso adicional antes de disponerlas.

Se tienen tres flujos como productos:

Por la cima se tiene una espuma cargada de sólidos similar a un equipo de flotación convencional con 40 % sólidos. De todas formas,

promoviendo el colapso de las burbujas, o mejorando el diseño de la columna de flotación, se puede tener una corriente más concentrada.

Por el fondo se tiene un lodo similar a la operación de clarificación convencional con 80 % sólidos que también es susceptible de obtener más concentrado.

Por último, se tiene la vinaza con menor concentración de sólidos.

4. Cuál es el consumo de energía por m<sup>3</sup> de vinaza, o por la unidad que ustedes tengan definida?

El consumo de energía fue de 1 KW/m<sup>3</sup> de vinaza en operación discontinua. (Este valor se puede disminuir una vez se pase a planta piloto continua).

Debe quedar muy claro que esta técnica no se ha estudiado en operación continua (que consideramos sería más efectiva) ni se ha probado a nivel de planta piloto; por lo tanto, existen preguntas que solo se resolverán haciendo más investigación.

Hasta ahora, lo relevante es que la técnica resulta prometedora como pretratamiento de la vinaza que sale del tanque flash (vinaza diluida) logrando retirar hasta el 40 % de los sólidos sin tener que calentarla ni evaporarla. Consideramos que, en continuo, la separación de sólidos sería más alta pero desconocemos hasta qué valor.

La meta es que logremos desarrollar un equipo piloto, con el patrocinio de la industria del Valle del Cauca o de entidades auspiciadoras, que encuentre aplicación en las destilerías de la región.

## ANEXO B

### Datos históricos Precio Azúcar Crudo- Variación

PRECIO AZÚCAR CRUDO PRIMERA POSICIÓN - NUEVA YORK CONTRATO 11 (fob) - US\$cents/lb														
Año	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	promedio	Variación Logarítmica
1989	9.96	10.67	11.82	12.30	12.02	12.62	13.86	13.82	14.06	13.99	14.78	13.47	12.78	
1990	14.45	14.69	15.46	15.37	14.67	12.92	11.83	10.84	10.92	9.70	9.93	9.70	12.54	-1,902%
1991	8.99	8.66	9.15	8.56	7.90	9.44	9.13	8.80	9.11	8.76	8.59	8.87	8.83	-35,077%
1992	8.44	8.10	8.33	9.58	9.60	10.50	9.69	9.36	9.01	8.78	8.68	8.30	9.03	2,249%
1993	8.45	8.75	11.03	11.52	12.10	10.44	9.84	9.48	9.48	10.58	10.34	10.65	10.22	12,387%
1994	10.54	11.00	12.03	11.18	11.92	12.09	11.73	11.92	12.48	12.60	13.75	14.75	12.17	17,412%
1995	14.88	14.44	14.27	13.32	11.62	11.93	10.27	11.01	11.02	10.58	10.80	11.42	12.13	-0,295%
1996	11.75	12.41	12.01	11.33	10.95	11.76	11.66	11.70	11.61	10.71	10.51	10.61	11.42	-6,053%
1997	10.53	10.82	10.86	11.22	11.00	11.29	11.31	11.65	11.27	11.87	12.25	12.28	11.36	-0,483%
1998	11.43	10.57	9.72	9.30	8.84	7.94	8.60	8.40	7.16	7.62	8.17	7.96	8.81	-25,453%
1999	7.92	6.74	5.76	5.15	4.77	5.57	5.72	6.13	6.86	6.83	6.53	5.95	6.16	-35,758%
2000	5.56	5.25	5.28	6.15	7.00	8.46	9.74	10.65	10.00	10.37	9.51	9.72	8.14	27,868%
2001	10.11	9.68	8.75	8.57	8.98	8.89	8.55	7.95	7.39	6.60	7.28	7.41	8.35	2,497%
2002	7.43	6.25	6.06	5.77	5.64	5.40	5.79	5.86	6.72	7.17	7.30	7.51	6.41	-26,426%
2003	7.89	8.79	7.87	7.51	7.03	6.54	6.73	6.71	6.01	5.70	5.57	5.94	6.86	6,774%
2004	5.83	5.63	6.53	6.56	6.62	7.02	8.17	7.88	7.91	8.96	8.64	8.80	7.38	7,332%
2005	8.92	8.92	8.90	8.42	8.51	8.92	9.60	9.88	10.44	11.61	11.81	13.93	9.99	30,276%
2006	16.19	17.94	17.08	17.21	16.90	15.27	15.86	12.98	11.41	11.51	11.73	11.70	14.65	38,291%
2007	10.92	10.72	10.37	9.63	9.09	8.86	9.90	9.61	9.52	9.99	9.89	10.45	9.91	-39,051%
2008	11.66	13.13	12.88	11.85	10.93	10.80	13.21	13.68	12.29	11.70	11.83	11.30	12.10	19,979%
2009	12.24	13.01	12.93	13.12	15.47	15.54	17.82	21.72	22.25	23.16	22.77	24.90	17.91	39,180%

Fuente: Asocaña

## ANEXO C

### Datos históricos Tasa Representativa de Mercado

Fecha	TRM
05-08-2009	1992,98
06-08-2009	1987,84
10-08-2009	1997,01
11-08-2009	2022,56
12-08-2009	2050,45
13-08-2009	2026,45
14-08-2009	1999,98
18-08-2009	2016,09
19-08-2009	2037,1
20-08-2009	2041,91
21-08-2009	2012,67
24-08-2009	1997,31
25-08-2009	1997,44
26-08-2009	2007,2
27-08-2009	2044,79
28-08-2009	2043,65
31-08-2009	2035
01-09-2009	2057,81
02-09-2009	2068,96
03-09-2009	2065,73
04-09-2009	2029,75
07-09-2009	2018,72
08-09-2009	2018,72
09-09-2009	1994,44
10-09-2009	1998,17
11-09-2009	2008,95
14-09-2009	1985,38
15-09-2009	1998,99
16-09-2009	1986,86
17-09-2009	1960,76

**Fuente:** Los datos presentados en este cuadro fueron calculados por el Banco de la República.

## ANEXO D

### Datos históricos Índice de Precios al Consumidor (IPC)

	Base Diciembre de 2008 = 100,00															
Mes	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Enero	3,15	1,84	2,51	1,65	1,79	2,21	1,29	1,05	0,80	1,17	0,89	0,82	0,54	0,77	1,06	0,59
Febrero	3,68	3,52	4,01	3,11	3,28	1,70	2,30	1,89	1,26	1,11	1,20	1,02	0,66	1,17	1,51	0,84
Marzo	2,21	2,61	2,10	1,55	2,60	0,94	1,71	1,48	0,71	1,05	0,98	0,77	0,70	1,21	0,81	0,50
Abril	2,37	2,23	1,97	1,62	2,90	0,78	1,00	1,15	0,92	1,15	0,46	0,44	0,45	0,90	0,71	0,32
Mayo	1,54	1,65	1,55	1,62	1,56	0,48	0,52	0,42	0,60	0,49	0,38	0,41	0,33	0,30	0,93	0,01
Junio	0,90	1,20	1,14	1,20	1,22	0,28	-0,02	0,04	0,43	-0,05	0,60	0,40	0,30	0,12	0,86	-0,06
Julio	0,91	0,77	1,51	0,83	0,47	0,31	-0,04	0,11	0,02	-0,14	-0,03	0,05	0,41	0,17	0,48	-0,04
Agosto	0,97	0,63	1,10	1,14	0,03	0,50	0,32	0,26	0,09	0,31	0,03	0,00	0,39	-0,13	0,19	0,04
Septiembre	1,09	0,84	1,19	1,26	0,29	0,33	0,43	0,37	0,36	0,22	0,30	0,43	0,29	0,08	-0,19	-0,11
Octubre	1,11	0,88	1,15	0,96	0,35	0,35	0,15	0,19	0,56	0,06	-0,01	0,23	-0,14	0,01	0,35	-0,13
Noviembre	1,11	0,79	0,80	0,81	0,17	0,48	0,33	0,12	0,78	0,35	0,28	0,11	0,24	0,47	0,28	-0,07
Diciembre	1,49	0,92	0,72	0,61	0,91	0,53	0,46	0,34	0,27	0,61	0,30	0,07	0,23	0,49	0,44	0,08
En año corrido	22,59	19,46	21,63	17,68	16,70	9,23	8,75	7,65	6,99	6,49	5,50	4,85	4,48	5,69	7,67	2,00

Fuente: DANE

## ANEXO E

### Datos históricos Consumo Azúcar

Año	Consumo Azúcar a nivel mundial*	Variación Logarítmica
1985	97739	
1986	100653	2,938%
1987	104879	4,113%
1988	104913	0,032%
1989	107275	2,226%
1990	107887	0,569%
1991	108949	0,980%
1992	112201	2,941%
1993	111341	-0,769%
1994	112799	1,301%
1995	116422	3,161%
1996	119963	2,996%
1997	122333	1,956%
1998	123209	1,714%
1999	126631	2,740%
2000	127357	0,572%
2001	131709	3,360%
2002	137667	3,424%
2003	141403	2,678%
2004	146606	3,613%
2005	146892	1,095%
2006	152611	3,819%
2007	156922	2,786%
2008	161335	2,773%
2009	164316	1,831%

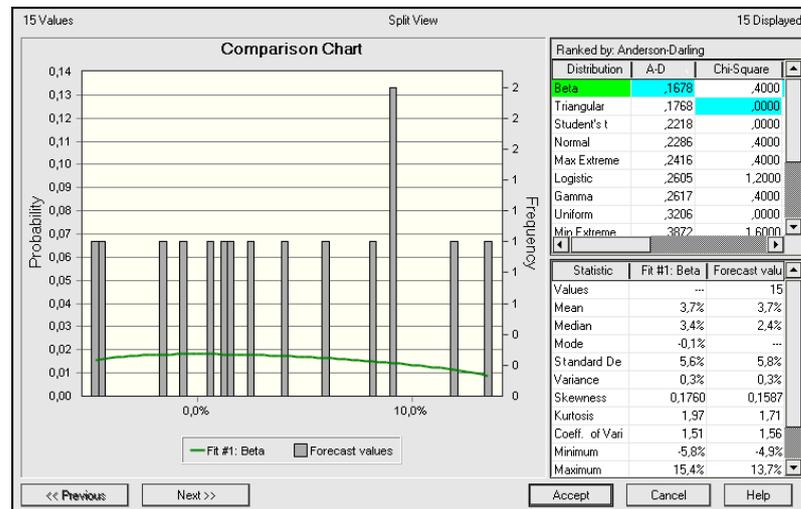
\*toneladas métricas valor crudo

**Fuente:** Balance Azucarero 2009 Asocaña

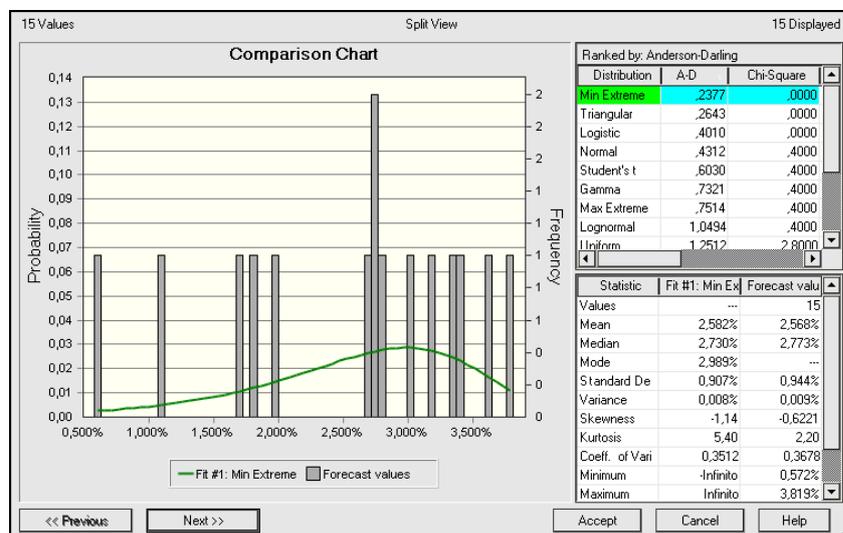
## ANEXO F

## Distribuciones de probabilidad de las variables de entrada

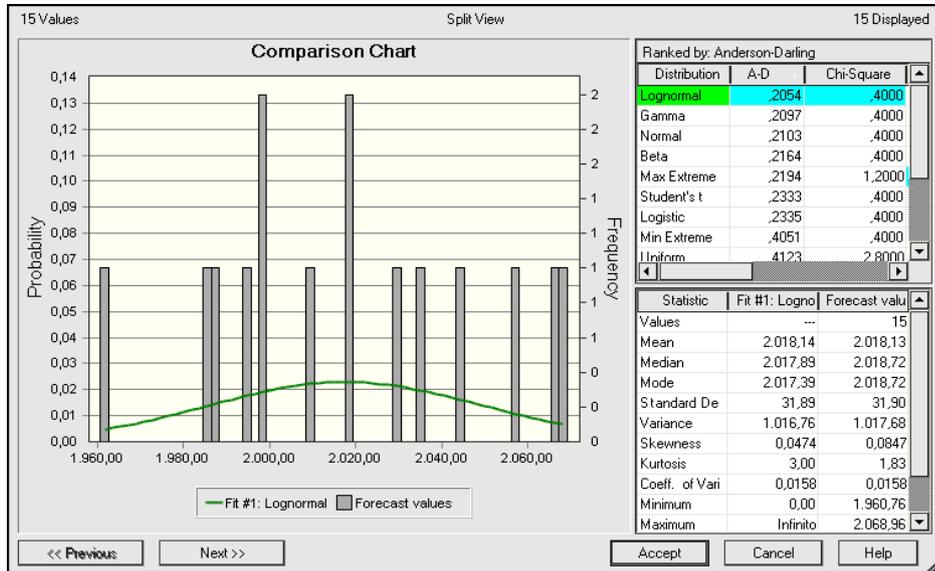
- Variación azúcar Crudo



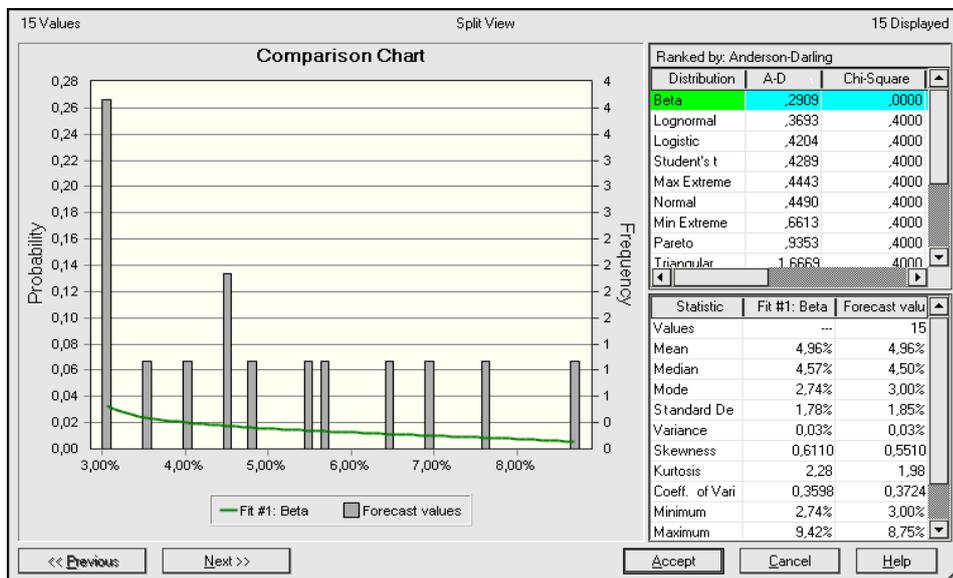
- Demanda variación Mundial Azúcar



- TRM



- IPC



## ANEXO G

### Cálculo Valor Activo Subyacente

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
INGRESOS		\$ 5.216,2	\$ 5.372,7	\$ 5.533,9	\$ 5.699,9	\$ 5.870,9	\$ 6.047,0	\$ 6.228,5	\$ 6.415,3	\$ 6.607,8	\$ 6.806,0
COSTOS		\$ 386,3	\$ 397,8	\$ 409,8	\$ 422,1	\$ 434,7	\$ 447,8	\$ 461,2	\$ 475,0	\$ 489,3	\$ 504,0
IMPUESTOS		\$ 1.379,3	\$ 1.427,1	\$ 1.476,4	\$ 1.527,1	\$ 1.579,3	\$ 1.847,8	\$ 1.903,2	\$ 1.960,3	\$ 2.019,1	\$ 2.079,7
UDI		\$ 2.800,4	\$ 2.897,5	\$ 2.997,4	\$ 3.100,4	\$ 3.206,5	\$ 3.751,5	\$ 3.864,1	\$ 3.980,0	\$ 4.099,4	\$ 4.222,4
<b>FLUJO DE CAJA</b>											
FLUJO DE CAJA BRUTO		\$ 4.101,0	\$ 4.198,1	\$ 4.298,1	\$ 4.401,1	\$ 4.507,2	\$ 3.751,5	\$ 3.864,1	\$ 3.980,0	\$ 4.099,4	\$ 4.222,4
REQUERIMIENTO DE CAPITAL DE TRABAJO											
INVERSIÓN EN CAPITAL DE TRABAJO											
VENTA DEL ACTIVO (FLUBEX)	\$ -										
INVERSIÓN EN ACTIVO	\$ -										
FLUJO DE CAJA LIBRE	\$ -	\$ 4.101,0	\$ 4.198,1	\$ 4.298,1	\$ 4.401,1	\$ 4.507,2	\$ 3.751,5	\$ 3.864,1	\$ 3.980,0	\$ 4.099,4	\$ 4.222,4
	\$ -										
<b>VALOR PRESENTE NETO</b>	\$ 16.375,3										

(Valores expresados en Millones de Pesos)

## ANEXO H

### Cálculo Precio del Ejercicio

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
INGRESOS		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
COSTOS		\$ 386,3	\$ 397,8	\$ 409,8	\$ 422,1	\$ 434,7	\$ 447,8	\$ 461,2	\$ 475,0	\$ 489,3	\$ 504,0
<b>FLUJO DE CAJA</b>		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
FLUJO DE NETO		\$ 386,3	\$ 397,8	\$ 409,8	\$ 422,1	\$ 434,7	\$ 447,8	\$ 461,2	\$ 475,0	\$ 489,3	\$ 504,0
INVERSIÓN EN ACTIVO	\$ 3.251,6	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>VALOR PRESENTE</b>	\$ 4.910,5										

(Valores expresados en Millones de Pesos)