



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
ENERGÍA – PROCESOS Y USO EFICIENTE DE ENERGÍA  
EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN INCORPORANDO LOS CONCEPTOS DE LAS OPCIONES REALES  
(CON UN EJEMPLO DE BIOMASA)

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:

ANA KAREN ZACARIAS BORJA

TUTOR PRINCIPAL

ARTURO GUILLERMO REINKING CEJUDO, POSGRADO DE INGENIERÍA

MÉXICO, D. F. (MES) 2017

Ciudad universitaria, Ciudad de México

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Francois Lacouture Juan Luis  
Secretario: Dr. León De Los Santos Gabriel  
Vocal: Dr. Reinking Cejudo Arturo Guillermo  
1<sup>er</sup>. Suplente: Dra. Castro González Alejandra  
2<sup>d o</sup>. Suplente: M. I. Rodiles Amaro Fabiola

TUTOR DE TESIS:

Dr. Reinking Cejudo Aturo Guillermo

---

FIRMA

## Dedicatoria

A mi madre y mi hermana por ser parte de mi familia y estar presentes en mi vida a cada paso que doy.

A la universidad por permitirme agregar un grado a mis estudios en sus filas nuevamente.

A CONACYT por apoyarme económicamente durante gran parte de la maestría.

A el Dr. Reinking Cejudo Arturo por guiar esta tesis y ser uno de mis profesores de la maestría.

A todos los profesores que tuve en esta etapa ya que cada clase para mí fue un nuevo aprendizaje.

A mis compañeros de la maestría, conocí gente increíble de muchos campos nuevos y se convirtieron en mis amigos.

A mi amiga Mari, aunque sólo compartimos una clase juntas nuestra amistad creció en esta etapa.

A mis Amigas Kari, Karina, Andy, Marisela por estar en mi vida simplemente.

A Cori por no terminar la carrera hasta asegurarse de que yo termine la maestría.

# Tabla de Contenido

## Tabla de contenido

<b>Lista de figuras</b> .....	<b>4</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>5</b>
<b>Unidades</b> .....	<b>5</b>
<b>Siglas</b> .....	<b>6</b>
<b>Nomenclatura</b> .....	<b>6</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>7</b>
<b>Objetivos generales</b> .....	<b>7</b>
<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>7</b>
<b>Capítulo 1 Estado del Arte</b> .....	<b>8</b>
<b>1.1 Opciones reales</b> .....	<b>8</b>
1.1.1 Opciones de crecimiento o expansión .....	9
1.1.2 Opciones de abandono .....	10
1.1.3 Opciones de esperar para invertir .....	10
1.1.4 Opciones de flexibilidad.....	10
<b>1.2 Planteamiento del problema</b> .....	<b>11</b>
<b>1.3 Metodología</b> .....	<b>11</b>
<b>1.4 Tipos de proyectos similares que existen</b> .....	<b>11</b>
<b>1.5 Evaluación de proyectos</b> .....	<b>12</b>
1.5.1 Evaluación financiera.....	12
1.5.2 Evaluación económica .....	19
1.5.3 Evaluación por medio de opciones reales .....	23
<b>Capítulo 2 LA BIOMASA</b> .....	<b>29</b>
<b>2.1 Biomasa</b> .....	<b>29</b>
2.1.1 Criterios para la selección de biomasa .....	31
2.1.2 Potencial de la biomasa en México para la generación eléctrica.....	32
2.1.3 Potencial de la biomasa en el mundo para la generación eléctrica.....	35
<b>2.2 Gasificación</b> .....	<b>37</b>
2.2.1 Proceso de los gasificadores.....	38
2.2.2 Tipos de gasificadores.....	39
<b>2.3 La gasificación como vía de conversión de la biomasa</b> .....	<b>44</b>
<b>2.4 Futuro de los gasificadores en México y en el mundo</b> .....	<b>45</b>
<b>2.5 Barreras de la implementación en la gasificación</b> .....	<b>46</b>
<b>2.6 Aplicaciones a escala y costos de la gasificación</b> .....	<b>46</b>
<b>Capítulo 3 Plan de negocios para la biomasa</b> .....	<b>47</b>
<b>3.1 Análisis de mercado</b> .....	<b>47</b>
3.1.1 Insumos .....	52
3.1.2 Consumidores.....	53

3.1.3 Competencia.....	56
<b>3.2 Legislación.....</b>	<b>56</b>
<b>Capítulo 4 Evaluación y análisis del proyecto de inversión .....</b>	<b>58</b>
<b>4.1 Datos generales del proyecto de inversión mediante evaluación tradicional .....</b>	<b>58</b>
4.1.1 Activos, pasivos, costos, flujo de caja.....	58
<b>4.2 Análisis de la evaluación tradicional .....</b>	<b>62</b>
<b>4.3 Análisis económico con opciones reales .....</b>	<b>64</b>
4.3.1 Opciones de venta.....	68
4.3.2 Valuación neutral a riesgo de opciones de compra .....	69
4.3.3 Valuación neutral a riesgo de opciones de venta.....	71
4.3.4 Modelo binomial generalizado: “n” pasos .....	72
4.3.5 Valuación de opciones europeas considerando dos pasos.....	75
4.3.6 Valuación de opciones americanas considerando dos pasos.....	77
4.3.7 Activos con dividendos .....	80
4.3.8 Valuación de una opción de venta europea utilizando cuatro pasos del modelo binomial.....	82
4.3.9 Opciones de compra europea.....	83
4.3.10 Opciones de venta europea.....	85
<b>Capítulo 5 Valuación utilizando opciones reales .....</b>	<b>87</b>
<b>5.1 Diferir la inversión .....</b>	<b>89</b>
5.1.1 Diferir un período .....	90
5.1.2 Diferir cinco períodos .....	92
<b>5.2 Abandonar el proyecto .....</b>	<b>95</b>
5.2.1 Abandonar en un período.....	95
5.2.2 Abandonar en cinco períodos.....	98
<b>5.3 Expandir la inversión .....</b>	<b>100</b>
5.3.1 Expandir en un período .....	102
5.3.2 Expandirán cinco períodos .....	103
<b>5.4 Reducir la inversión .....</b>	<b>105</b>
5.4.1 Reducir en un periodo .....	107
5.4.2 Reducir en cinco períodos.....	108
<b>5.5 Análisis conjunto de expansión o reducción.....</b>	<b>110</b>
<b>Capítulo 6 Conclusiones .....</b>	<b>114</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>118</b>

## Lista de figuras

Figura 1.1 Diagrama de flujos de un valor presente neto .....	14
Figura 1.2 Diagrama de flujo de caja convencional con un solo cambio de signo.....	15
Figura 1.3 Diagrama de flujo de caja no convencional .....	16
Figura 1.4 Diagrama de flujo de caja no convencional con cambio de signo .....	16
Figura 1.5 Objetivo de la evaluación económica .....	20
Figura 1.6 Muestra de ejecución de un modelo binomial .....	20
Figura 1.7 Ejemplo de un árbol binomial de volatilidad de precios.....	21
Figura 1.8 Árbol binomial con opción americana .....	22
Figura 1.9 Árbol binomial con opción europea.....	28
Figura 2.1 Clasificación de los diferentes tipos de biomasa .....	30
Figura 2.2 Capacidad instalada efectiva actual a partir de la biomasa .....	34
Figura 2.3 Capacidad instalada actual y generación eléctrica anual a partir de la biomasa .....	34
Figura 2.4 Capacidad instalada y generación eléctrica por tipo de combustible .....	35
Figura 2.5 Diagrama de las fases existentes en los procesos de gasificación .....	38
Figura 2.6 Objetivos y aplicaciones del gas obtenido por gasificación de la biomasa.....	38
Figura 2.7 Flujo de materia y perfiles de temperatura y conversión en un reactor updraft .....	33
Figura 2.8 Flujo de materia y perfiles de temperatura y conversión en un reactor downdraft .....	41
Figura 2.9 Flujo de materia y perfiles de temperatura y conversión en un reactor de lecho fluidizado.....	43
Figura 2.10 Flujo de materia en un reactor de lecho arrastrado.....	43
Figura 2.11 Esquema del tratamiento y valoración de la biomasa .....	44
Figura 3.1 Porcentaje de cambio en las emisiones de gases de efecto invernadero para diferentes biocombustibles en comparación con los combustibles fósiles .....	50
Figura 4.1 Pasos del sistema de gasificación que lo componen .....	49
Figura 4.2 Diagrama de flujo de la inversión y los ingresos anuales.....	63
Figura 4.3 Cálculo del valor de una opción de compra.....	68
Figura 4.4 Cálculo de valor de una opción de venta .....	69
Figura 4.5 Valuación neutral a riesgo de una opción de compra .....	71
Figura 4.6 Valuación neutral a riesgo de una opción de venta.....	72
Figura 4.7 Árbol binomial de dos periodos.....	74
Figura 4.8 Árbol binomial.....	75
Figura 4.9 Valuación de opciones europeas considerando dos pasos.....	77
Figura 4.10 Valuación de la opción europea considerando dos pasos.....	80
Figura 4.11 Valuación de una opción de compra con dos pasos americana .....	82
Figura 4.12 Valuación de una opción de venta europea utilizando cuatro pasos del modelo binomial .....	83
Figura 4.13 Opciones de compra europea con un modelo de black-scholes-merton .....	84
Figura 4.14 Valuación de una opción de venta con el modelo black-scholes-merton .....	86
Figura 5.1 Diferir en cinco periodos.....	92
Figura 5.2 Árbol binomial.....	93
Figura 5.3 Diferir en cinco periodos.....	94
Figura 5.4 Árbol binomial de resultado por ejercicio van y el valor de la opción "viva" .....	94
Figura 5.5 Abandonar en un periodo.....	97
Figura 5.6 Árbol binomial valores subyacentes .....	98
Figura 5.7 Abandonar en cinco periodos .....	99
Figura 5.8 Árbol binomial de resultado por ejercicio y valor de la opción "viva" .....	100

Figura 5.9 Expandir en un periodo.....	103
Figura 5.10 Árbol binomial subyacente .....	104
Figura 5.11 Expandir en cinco periodos.....	104
Figura 5.12 Árbol binomial de resultado por ejercicio y valor de la opción "viva".....	105
Figura 5.13 Reducir en un periodo .....	108
Figura 5.14 Reducir en cinco periodos.....	109
Figura 5.15 Árbol binomial de resultado por ejercicio y valor de la opción "viva".....	110
Figura 5.16 Opción de reducir / expandir .....	112
Figura 5.17 Árbol binomial de resultado por reducción /expansión y valor de la opción "viva" .....	114

## Lista de tablas

Tabla 1.1 Clasificación de todas las opciones reales y los tipos existentes .....	9
Tabla 1.2 Impactos VS situación .....	21
Tabla 2.1 Generación de emisiones de CO <sub>2</sub> por 1 kwh.....	31
Tabla 2.2 Generación eléctrica actual por energía renovable .....	33
Tabla 2.3 Inventario actual .....	33
Tabla 2.4 Generación eléctrica a partir de fuentes renovables para países seleccionados. 2012 .....	36
Tabla 2.5 Costos de producción de la gasificación .....	47
Tabla 3.1 Consumo final total de energía (petajoules).....	54
Tabla 3.2 Consumo final por tipo de combustible (petajoules) sener.....	55
Tabla 4.1 Especificaciones técnicas de operación del sistema de gasificación .....	59
Tabla 4.2 requerimiento energético del tablero principal de secado .....	60
Tabla 4.3 Costos de sistema de gasificación y generador.....	60
Tabla 4.4 Ingresos anuales por la producción de energía eléctrica, proyectada a 10 años .....	61
Tabla 4.5 Flujo de caja del proyecto (dólares).....	62
Tabla 4.6 Indicadores financieros del proyecto.....	62
Tabla 4.7 TIR anual del proyecto .....	63
Tabla 5.1 Utilidad bruta y van.....	89
Tabla 6.1 Porcentaje con el cuál aumenta el van <sup>p</sup> ya con el valor agregado de las opciones reales .....	117

## Unidades

\$: Pesos	m: Metro	Wh: Watt.hora	KWe: Kilowatt eléctrico	\$/kg: Pesos por kilogramo
USD\$: Dólares	min: Minuto	K :Grado Kelvin	MWe: Megawatt eléctrico	\$/MW* año: Peso por Megawatt*año
s: Segundos	% :Por ciento	°C: Grados Celsius	\$/kWh: Peso por kilowatt*hora	
gr: Gramo	\$/año: Peso al año	g/mol: Gramo por mol	TonCO: Tonelada de Dióxido de Carbono	

## Siglas

I: Inversión	TCO: Tasa costo de oportunidad.	VPN: Valor presente neto.	HRSG: Heat Recovery Steam Generator	VPUE: Valor periódico uniforme equivalente.
VPN: Valor presente neto	LFB: El lecho fluidizado burbujeante	ASU: Unidad de separación de aire	LPDB: Ley de promoción y desarrollo de los bioenergéticos	IBGCC: Integrated Biomass Gasification Combined Cycle Power Generation Concept
CO: Costo de oportunidad.	LFC: Gasificador de lecho fluidizado circulante	OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos		

## Nomenclatura

$\Sigma$ : Sumatoria desde $j=0$ hasta $j=n$	$(1-p)$ : probabilidad de bajar	$i$ %: Tasa de costo de oportunidad.	$1-p$ : probabilidad de que me vaya mal	A/P: Hallar A conociendo P.
$r$ : es la tasa discreta anual	$r$ : tasa libre de riesgo, como cetes.	$n$ : Horizonte del proyecto.	B/C: Beneficio Costo	$T$ : Años transcurridos
$V_0$ : valor presente del nodo	$P$ : probabilidad de que me vaya bien	$p$ : probabilidad de subir	$u$ : es el factor que indica el porcentaje de aumento en el precio.	$X$ :es el precio de ejercicio de la opción.
$\theta$ : es la cantidad de subyacente que se compra en el momento cero.	$r$ : es la tasa anual sin riesgo a la cual se puede depositar o solicitar dinero.	$N(x)$ : indica la probabilidad acumulada por una distribución normal estándar hasta el valor $x$ .	$\sigma$ : es el desvío estándar (volatilidad) hasta el vencimiento de la opción.	$d_1$ : es un parámetro que surge al calcular la esperanz matemática y queda definido por:
$S_0$ : es el precio del subyacente en el momento cero (el momento devaluación)	$r_{\square}$ : es la tasa de crecimiento continua anual por periodo	$t$ : es el tiempo en años que hay hasta el vencimiento de la opción de compra.	$n$ : nodos en que se ésta en un año determinado del proyecto	$\delta$ : es la tasa de interés libre de riesgo con capitalización continua.



# Resumen

El presente trabajo representa el trabajo escrito para el proyecto de instalación de un sistema de gasificación, con capacidad de 40 kW, por medio de la utilización de biomasa, el cual permita obtener energía eléctrica y tiene como objetivo general producir energía eléctrica a partir de residuos agrícolas y agroindustriales de la actividad cafetalera, para lograr parcial o totalmente la autosuficiencia energética de Coopedota R.L mediante la utilización de sus residuos, con el fin de evitar la contaminación del medio ambiente y que los agricultores dispongan de una tecnología no contaminante para la disposición y utilización de los desechos agrícolas.

El proyecto se ubica en el Cantón de Santa María de Dota, CoopeDota R.L, costado norte de la plaza de deportes en la ciudad de San José, capital de la República de Costa Rica en Centro América. Generar energía eléctrica en un estimado de 40 kW , por medio de un gasificador utilizando desechos lignocelulósicos obtenidos de la actividad cafetalera.

Con la producción de energía eléctrica se genera una evaluación tradicional la cual es la base de las opciones reales, y con los indicadores financieros resultantes de la evaluación tradicional se entra en la metodología de opciones reales y se evaluara en todas las opciones existentes para buscar las flexibilidades que el proyecto lleva implícito, y poder aumentar el valor actual neto del proyecto.

No todas las opciones reales generan un valor agregado al proyecto, en este caso no es conveniente diferir o expandir este proyecto en particular ya que su monto de inversión es menor que el VAN<sup>P</sup> esto genera que estas dos opciones sean cero y no agregen valor al VAN<sup>P</sup>. Mientras que las opciones de abandonar y de reducir el proyecto por las mismas circunstancias agregan valor al VAN<sup>P</sup> este valor agregado se comparo en porcentajes para saber el cuando se mejoro el proyecto, para la opción de abandonar en un periodo el proyecto incremento 763.22% su valor y para la opción de abandonar en cinco periodos el proyecto incremento su valor en 809.72%.

Para la opción de reducir el proyecto en un periodo el valor agregado es de 846.37% mientras que el valor agregado de reducir en cinco periodos es de 869.72% con esto se concluye que para el proyecto esta es la opción con un mayor valor agregado y aunque se evaluaron cuatro opciones reales distintas y cada uno con 2 periodos de tiempo diferente, una de un periodo y la otra de 5 periodos, solo se generaron valor agregado en dos opciones con sus respectivos periodos.

## Objetivos

### Objetivos Generales

Evaluar la factibilidad del proyecto utilizando opciones reales para un mayor provecho de una inversión de energía limpia, en este caso de biomasa.

Utilizar la biomasa de una manera eficiente desmostrandolo mediante un análisis financiero.

### Objetivos Específicos

- Evaluar el proyecto por medio de opciones reales, presentando un escenario de inversión actual con opción de modificarlo cuando los precios varíen
- Integrar la volatilidad en los precios de biomasa, con el fin de realizar una evaluación de proyectos con alternativas para la toma de decisiones.
- Aprovechar la biomasa producida en los campos agrícolas y en los procesos agroindustriales.
- Promover y promocionar otros usos de los desechos biomásicos, mediante el establecimiento de un proyecto modelo a nivel regional que permita utilizar procesos innovadores para la generación de energía eléctrica por medio de desechos.

# Capítulo 1 Estado del Arte

## 1.1 Opciones Reales

La opción real es una herramienta que da el derecho a ingresar o participar, o no, en un proyecto dependiendo del análisis que se pueda observar en el camino, esto ayuda a los inversionistas de proyectos a tener flexibilidad, con la que no cuentan cuando se trata de evaluaciones tradicionales como los flujos de caja descontados, la tasa de interna de retorno y el valor actual neto. Ya que las opciones nacen como un instrumento que permita atenuar o eliminar de cierta forma los riesgos financieros se ha tomado este útil concepto para aplicarlo en el mundo de los proyectos en la economía usual.

La flexibilidad que ofrecen las opciones a los inversionistas, es una parte cada vez más importante a la creación de valor a un proyecto. Es seguro decir que los inversionistas que piensan en integrar opciones superan a los que no lo hacen, esta afirmación está basada en los ejemplos de empresas que han tomado las opciones reales agresivamente en precios y presupuestos de capital.

Además, de que proporcionan plenitud en la cobertura de riesgos, un gran potencial de especulación y apalancamiento, las opciones están siendo consideradas una herramienta de valoración para la toma de decisiones cuantitativas en el mundo en donde las consideraciones estratégicas importan. Algunas opciones son extremadamente valiosas y otras son prácticamente inútiles, en general en cuanto más opciones se tenga más amplio es el panorama y aumentan su valor. Una opción es un activo de capital, esto es obvio para una opción financiera que puede tener un precio en el mercado de opciones públicas u opciones de incentivos para los empleados.

Las opciones son instrumentos que nacen con el propósito de la cobertura de riesgos como los derivados financieros, también pueden proporcionar una especulación con respecto a la cobertura; esto se refiere a que un inversionista tome una postura para cubrir las fluctuaciones de los precios adversos, como es el caso de un agricultor que puede mantener un precio de una cosecha, pero no puede asegurar que este precio sea el mismo para la próxima cosecha ya que esta depende de cosas como el clima, el precio de los fertilizantes y otros que son precios variables. Mientras que un especulador solo fija un precio de un producto sin tener claro si es un precio real o un precio a alza o a la baja. Una opción da a su comprador el derecho más no la obligación de adquirir un activo subyacente, el cual puede ser una acción o un producto. Además, el contrato de opciones estipula el tiempo y el precio en el que se debe ejercer las opciones.

Se estipula que los contratos de opciones son estandarizados, esto quiere decir que, si alguien quiere adquirir una opción, el mercado vende cada opción por un monto de 100 acciones y si hablamos de activos del sector real como el petróleo o el oro, tendremos el número de barriles o toneladas que correspondan a un contrato de opciones, lo que ofrece en el mundo financiero la opción de aplazamiento. Para saber cómo funciona el apalancamiento con estos documentos se ve que sí, queremos comprar una acción de una empresa "X" esto son representa un costo, el costo real de esa acción directamente, pero con productos derivados se pueden adquirir opciones por un conjunto de acciones sin la necesidad de contar con el dinero para cada una de las acciones, sino únicamente adquirir el pago de una prima que representa un costo mucho menor. Para cuando

la acción se ejecute, entonces podemos ganar el valor total al negociar estas acciones en el mercado, así funciona el apalancamiento se tiene la posibilidad de lograr ganancias invirtiendo la menor cantidad de capital.

El mercado de opciones reales surgió en el Chicago Board Options Exchange en 1973 nació con el fin de negociar acciones de empresas que cotizaban en la bolsa, después surgió el American Stock Exchange y el Philadelphia Stock Exchange en 1975. Posteriormente, en los ochentas surgen nuevos mercados de opciones de divisas, Índices bursátiles e incluso una mezcla de derivados como son las opciones sobre contratos futuros.

Opciones Reales	
Opciones de crecimiento o aprendizaje	Opciones de flexibilidad
Ampliar	Aplazar la inversión
Investigación y desarrollo	Reducir el proyecto
Adquisiciones	Usos alternativos
Aprendizaje	Regeneración de contratos
Nuevos negocios	Abandono
Nuevos clientes	Cierre temporal
Iniciativa de internet	Modificación de productos

Tabla 1.1 Clasificación de todas las opciones reales y los tipos existentes (Baca. 2009)

### 1.1.1 Opciones de crecimiento o expansión

Las opciones de expansión constituyen la posibilidad de realizar inversiones adicionales ligadas al proyecto de inversión, con la finalidad de aumentar la producción, la capacidad de la empresa o realizar inversiones de seguimiento para la inversión inicial. Si el proyecto puede ampliarse con condiciones favorables establece que el proyecto tenga más valor que otro que no cuenta con esta posibilidad. De esta forma el proyecto no establece las opciones de ampliación en el balance de la empresa, pero los inversionistas valoran las opciones de ampliación del proyecto, si una empresa tiene opciones reales ventajosas que le permiten invertir sin restricciones en nuevos proyectos rentables su valor de mercado aumenta.

Vamos a poner un ejemplo si tenemos un proyecto inicial que tenga un VAN negativo, al evaluar las opciones de expansión puede que se compense y el proyecto tenga que ser aceptado; aunque se tenga una inversión con un VAN negativo al llevarse a cabo y al generar oportunidades futuras, se genera un valor estratégico para la empresa en el proyecto.

### 1.1.2 Opciones de abandono

Las opciones de abandono permiten una mayor flexibilidad aun siendo menos rentables que otras, ya que estas inversiones contemplan la posibilidad de liquidar el proyecto en cualquier momento por un valor superior al esperado de continuar con la inversión, la opción de abandono se contempla cuando se presenta un nuevo proyecto esto permite desinvertir cuando el proyecto no es factible económicamente. El valor del proyecto debe considerar el valor de abandono, el cual no se conoce en el momento inicial de la inversión ya que depende de su evolución futura, para considerar el abandono un proyecto debe ser abandonado cuando el valor actual de los flujos de caja futuros sea inferior a la opción de abandono. El valor total del proyecto sería sus propios flujos de caja más el valor de la opción de venta.

Vamos a poner un ejemplo en una empresa "X" se plantea dos alternativas de inversión en una maquinaria que produce aromáticos. Si planteamos dos alternativas tendremos en la alternativa 1, se requiere una inversión inicial de 45 millones de dólares, para poder invertir en una maquinaria que ofrece reducir el tiempo y los costos de producción, si consideramos que la nueva gama de productos no tiene la aceptación esperada, la maquinaria no podrá venderse ni utilizarse en productos de anterior producción. Mientras que para la alternativa 2, que requiere una inversión inicial de 25 millones de dólares, no ofrece el mismo tiempo de producción y a un costo de producción tan bajo como el anterior, pero si la gama de productos no tiene la aceptación esperada se puede considerar vender la maquinaria por 17.5 millones de dólares. Analizar las dos inversiones mediante flujo de caja (VAN) se obtiene que la alternativa 1, proporciona un VAN de 135 millones de dólares si es exitoso el producto y de 51 millones en caso contrario en la alternativa 2, el VAN de la inversión en el caso de éxito será de 120 millones de dólares y en caso de no tener éxito de 49 millones.

En el ejemplo, en el caso de no existir la posibilidad de abandonar el proyecto y si la gama no tiene éxito, la alternativa 1 sería la más viable ya que ambos casos su VAN es superior, pero si se considera la opción 2 sin éxito se puede vender la maquinaria por 17.5 millones de dólares.

### 1.1.3 Opciones de esperar para invertir

Estas opciones plantean que, en ocasiones, aun cuando existe una situación de gran crecimiento a la hora de analizar los ingresos o bonificaciones de empresas, es mejor esperar un corto de tiempo para realizar una inversión que realizarla en ese momento, ya que los resultados serán más beneficiosos.

Vamos a poner un ejemplo usando el método tradicional de evaluación de inversión se supone que el inversionista invierte en el momento inicial del proyecto, o pierde la oportunidad de invertir en el futuro. Pero no es pertinente adoptar la posición de invertir simplemente si el VPN del proyecto es positivo, se tiene que comparar la decisión de invertir ahora con la decisión de invertir en todos los momentos futuros posibles, o se debe de invertir ahora solo si:  $VPN \text{ ahora} > VPN \text{ de la opción de esperar}$ . Para poder saber cuándo es el mejor momento para invertir se tiene que analizar varios parámetros: la opción de inversión tiene vida ilimitada o es válida por un periodo finito, el monto de inversión y su VPN varían a través del tiempo, los flujos de caja y el riesgo de la inversión se alteran a través del tiempo.

### 1.1.4 Opciones de flexibilidad

Estas opciones reales, reflejan la posibilidad y el valor que se crea al realizar una inversión en dos o más lugares distintos, ya que con la construcción de más de una planta se crea un mayor valor y la opción de alternar la producción entre ellas, aquí influye a favor de las opciones reales el ingrediente incertidumbre.

## 1.2 Planteamiento del problema

Hoy en día la producción de energías alternas aún se encuentra postergada por los hidrocarburos, ya que estos cuentan con una mayor investigación tecnología e inversión amplia, lo que no es muy común en otro tipo de energías renovables para poder competir con la producción de biogás con los precios de distintas energías se buscará ejercer la opción de las opciones reales y con esto buscar una mayor flexibilidad en el proyecto lo que a su vez reflejará un mejor precio de la energía a analizar.

## 1.3 Metodología

El presente trabajo de investigación consiste, en la revisión bibliográfica referente al tema de investigación, para el cual se utilizaron fuentes como libros, artículos, tesis de posgrado, páginas de internet relacionados con la producción de biocombustibles, biomasa evaluación de proyectos y opciones reales.

El otro nivel consiste en la elaboración de una evaluación tradicional (VAN, TIR, B/C) así como la metodología de opciones reales (árbol binomial con opción de expansión) para la puesta marcha del proyecto y con esto poder mejorar los indicadores financieros obtenidos de la evaluación tradicional.

(Brambila. 2010) plantea que los métodos tradicionales funcionaron bien durante la segunda mitad del siglo XX, pero el mundo cambió y ahora es necesario adecuarlos. Actualmente se reconoce que no toman en cuenta que, a lo largo de la vida del proyecto, el gerente del mismo tiene la posibilidad de tomar decisiones según se le presenten las circunstancias.

## 1.4 Tipos de proyectos similares que existen

Los proyectos similares en su mayoría son para la generación de energía eléctrica a través de una central de Biomasa, aunque en términos absolutos el consumo de los biocombustibles (leña, carbón vegetal y bagazo) permanece más o menos constante. En la actualidad, la mayoría de las tecnologías utilizadas para el aprovechamiento energético de la biomasa en el país son insuficientes, lo que implica un desperdicio de recursos y de energía, además de generar impactos negativos en el ambiente.

Actualmente la gasificación de biomasa tiene una capacidad instalada de 1.4 GWh en aplicaciones industriales combustión y cogeneración. Muchos países europeos, Canadá y Nueva Zelanda, han desarrollado plantas comerciales y demostrativas desde pequeñas escalas <1MW hasta media escala 100MW. En particular destacan países como Alemania, Holanda y Suecia donde se construyen las plantas con las más altas potencias instaladas (eléctricas y térmicas). (Estrategia Nacional de Energía 2014-2028)

La empresa Grupo Azucarero del trópico tiene un proyecto de generación eléctrica a través de una central de biomasa de 45MW en el ingenio la Gloria el cual tuvo una inversión de \$50 MDD y el suministro de energía se utiliza para autoconsumo y venta a empresas privadas, mientras que en Tres Valles (Veracruz) existe una planta

de biomasa con capacidad anual de 145 gigawatts/hora es una planta de cogeneración, con el cogenerador eléctrico a base de energía de bagazo se reduce 3.6 millones de toneladas de dióxido de carbono y entre 12 y 35 % del costo de la factura de la energía eléctrica que utiliza la industria azucarera veracruzana, y también tuvo una inversión de \$50 MDD. (Green Energy Consulting. 2015)

## 1.5 Evaluación de proyectos

### 1.5.1 Evaluación financiera

Consiste en determinar la rentabilidad comercial del proyecto a precios del mercado. Es decir, se quiere medir lo que el proyecto gana o pierde desde el punto de vista comercial o financiero. Cuando un proyecto se analiza desde el punto de vista financiero, la cuantificación de los ingresos y los egresos se hace con base en las sumas de dinero que el inversionista recibe, entrega o deja de recibir. Cuando se estudia un proyecto de inversión con el criterio financiero, el análisis se adelanta con la óptica microeconómica de cada inversionista.

Para lograr la evaluación financiera se recomienda seguir las siguientes etapas:

- Elaborar el flujo neto de caja durante el horizonte del proyecto.
- Calcular (según se requiera)
  - El valor presente neto
  - El valor periódico uniforme equivalente
  - La tasa interna de retorno
  - La tasa verdadera de retorno
  - La relación beneficio costo
  - Determinar necesidades financieras
  - Elaborar el plan de financiamiento

#### **a) Costos de oportunidad**

Por lo general, al determinar las ventajas de un proyecto se compararán los ingresos contra los egresos (costos fijos y variables) y se acepta si los primeros son mayores, es decir, si el flujo de caja es positivo. Se toma en cuenta el principal costo de invertir en el proyecto: el costo de oportunidad.

Si una persona, por ejemplo, decide cursar sus estudios universitarios en jornada diurna, contempla los costos de matrícula, de libros y útiles escolares, y de residencia, pero debe contemplar también el ingreso que deja de percibir por estudiar en lugar de trabajar. Este es el costo de oportunidad que le genera invertir su tiempo en la educación universitaria y no en un trabajo. Lo que permite entender el costo de oportunidad como lo que se deja de percibir al hacer una inversión diferente.

De manera similar, la decisión de invertir en un proyecto debe contemplar el costo de realizar esa inversión y no hacerla en proyectos alternativos o en títulos financieros. La evaluación por tanto debe comparar el escenario con proyecto y el escenario sin proyecto, cómo se invertirían los recursos si no existiera el proyecto para tomar una decisión.

Se define el costo de oportunidad CO como la totalidad de los beneficios que se dejan de percibir cuando se selecciona una, de entre dos varias alternativas de inversión.

Sabiendo qué el costo de oportunidad, se llega al concepto de tasa costo de oportunidad, al hacer la medición en forma de tasa mediante la siguiente relación:

$$TCO = (CO/I) * 100\% \dots (Ec.1)$$

Donde:

TCO: Tasa costo de oportunidad	CO: Costo de oportunidad	I: Inversión
--------------------------------	--------------------------	--------------

Los flujos de caja de cada período no pueden compararse de igual manera debido a que se encuentran en diferentes momentos de tiempo, lo cual hace que el costo de oportunidad sea diferente para cada período. Además, la inflación hace que un monto de hoy no tenga el mismo poder adquisitivo que uno del pasado o del futuro.

Por estas razones, para realizar una evaluación financiera es necesario llevar a un mismo punto del tiempo todos los flujos de caja descontando el costo de oportunidad. Ello implica llevarlos a valor presente con una tasa de descuento TCO. Esta tasa de descuento debe reflejar el costo de oportunidad de los recursos invertidos. Es la tasa de rentabilidad que generaría la mejor inversión alternativa del proyecto.

La determinación de la tasa costo de oportunidad, debe tener en cuenta los siguientes factores:

- o La rentabilidad de la mejor inversión alternativa debe ser mayor a la tasa de captación del sector financiero.
- o Debe tener en cuenta el nivel de riesgo del proyecto, así que debe ser la tasa de rentabilidad de un proyecto con nivel de riesgo similar.
- o Debe tener en cuenta la liquidez que genera el proyecto ya que los recursos invertidos no tienen disponibilidad inmediata. Por ello debe ser mayor que la tasa de depósitos a la vista.

#### b) Valor Actual Neto (VAN)

El valor actual neto VAN de un proyecto de inversión no es otra cosa que su valor medido en dinero de hoy. Es el equivalente en valores actuales de todos los ingresos y egresos, presentes y futuros, que constituyen el proyecto. Representa lo que vale hoy el flujo de beneficios generados y los costos incurridos por el proyecto durante todo su horizonte. En la figura 1.1 se representa un diagrama de flujos de un valor presente neto con diferentes cambios de signo y flujos diferentes cada año.

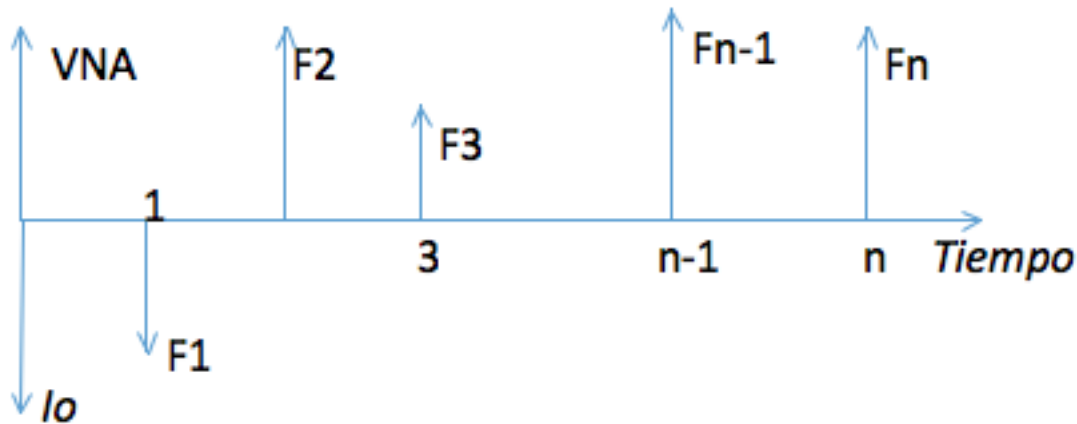


FIGURA 1.1 DIAGRAMA DE FLUJOS DE UN VALOR PRESENTE NETO (ROJAS. 2007)

Una vez determinada la TCO con la que se trabajará, puede calcularse el valor presente neto VAN, el cual consiste en la suma algebraica de los montos del flujo de caja descontados a valor presente:

$$VPN = I_0 + \frac{F}{(1+i)^1} + \frac{F}{(1+i)^2} + \frac{F}{(1+i)^3} + \dots + \frac{F}{(1+i)^n} \dots(\text{Ec.2})$$

$$VPN = \sum_{j=0}^n (f_j / (1 + T_{CO})^j) \dots(\text{Ec.3})$$

Donde:

VPN: Valor presente neto	Costo del capital propio.	Tasa representativa de mercado.	$\Sigma$ : Sumatoria desde $j=0$ hasta $j=n$	Tco: -Tasa costo de oportunidad.
--------------------------	---------------------------	---------------------------------	--	----------------------------------

Donde también se puede representar como:

$$VPN = VP \text{ Ingresos} - VP \text{ Egresos} \dots(\text{Ec.4})$$

El VPN para diferentes alternativas deberá compararse sobre el mismo número de años.

- o  $VPN > 0$  financieramente es factible (proyecto atractivo financieramente)  
(VP Ingresos > VP Egresos)
- o  $VPN = 0$  financieramente es indiferente  
(VP Ingresos = VP Egresos)
- o  $VPN < 0$  financieramente no es factible (proyecto no atractivo financieramente)  
(VP Ingresos < VP Egresos)

**c) Tasa interna de rendimiento (TIR)**

Es la tasa de descuento, actualización o equilibrio que aplicada al flujo de caja del proyecto produce un valor presente neto igual a cero.



La TIR como indicador que muestra la rentabilidad del proyecto bajo el supuesto de que todos los ingresos son reinvertidos directa y automáticamente a la misma tasa.

Entonces:

*Sí VPN = 0; Entonces i = TIR*

$$0 = FC_0 + \left(\frac{FC_1}{1+TIR}\right) + \left(\frac{FC_2}{(1+TIR)^2}\right) + \left(\frac{FC_3}{(1+TIR)^3}\right) + \left(\frac{FC_4}{(1+TIR)^4}\right) \dots + \left(\frac{FC_n}{(1+TIR)^n}\right) \dots \text{(Ec.5)}$$

*Si VPN = VP Ingresos – VP Egresos = 0; entonces i = TIR ... (Ec.6)*

*Sí VP Ingresos = VP Egresos; entonces i = TIR ... (Ec.7)*

### 1.5.1.1 Flujo de caja convencional

Un flujo de caja convencional se caracteriza por solo tener un cambio de signo, y por tanto hay una posible solución para efectos de evaluación por TIR en caso de alternativa única, en el diagrama 1.2 se observa un flujo de caja convencional con un solo cambio de signo en este caso es la inversión inicial es negativa ya que al ser un desembolso se considera como negativo y los flujos futuros son positivos.

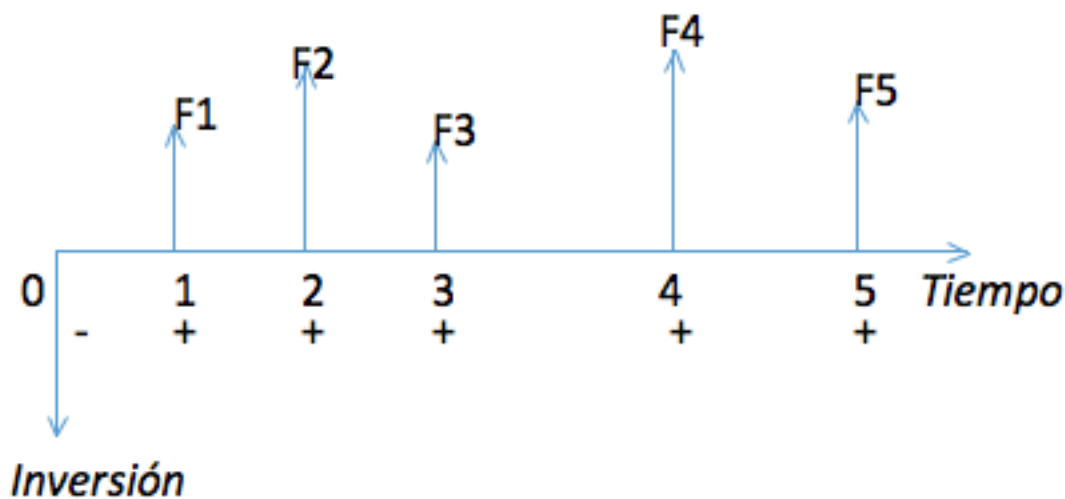


FIGURA 1.2 DIAGRAMA DE FLUJO DE CAJA CONVENCIONAL CON UN SOLO CAMBIO DE SIGNO (ROJAS. 2007)

- TIR > TCO financieramente es factible.
- TIR = TCO financieramente es indiferente.
- TIR < TCO financieramente no es factible.

### 1.5.1.2 Flujo de caja no convencional

Un flujo de caja no convencional se caracteriza por no tener cambio de signo, luego no hay solución (se necesitan ingresos y egresos). Hay más de un cambio de signo, puede haber más de una posible solución. En la figura 1.3 se observa 5 flujos futuros negativos con diferente valor en el tiempo cada uno.

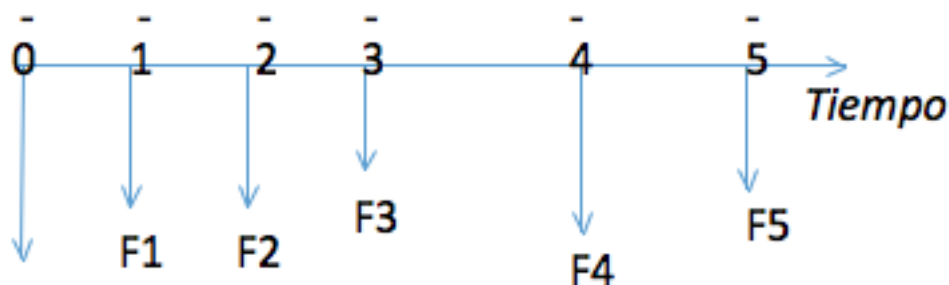


FIGURA 1.3 DIAGRAMA DE FLUJO DE CAJA NO CONVENCIONAL (ROJAS. 2007)

Cuando el número de posibles soluciones es mayor de uno (1) se debe tener en cuenta, la solución solamente permite valores en el campo de los números reales, los valores de las tasas no pueden ser negativos, se descartan los valores muy grandes, en la figura 1.4 se observa 5 flujos futuros con diferente valor en el tiempo y diferente cambio de signo cada uno.

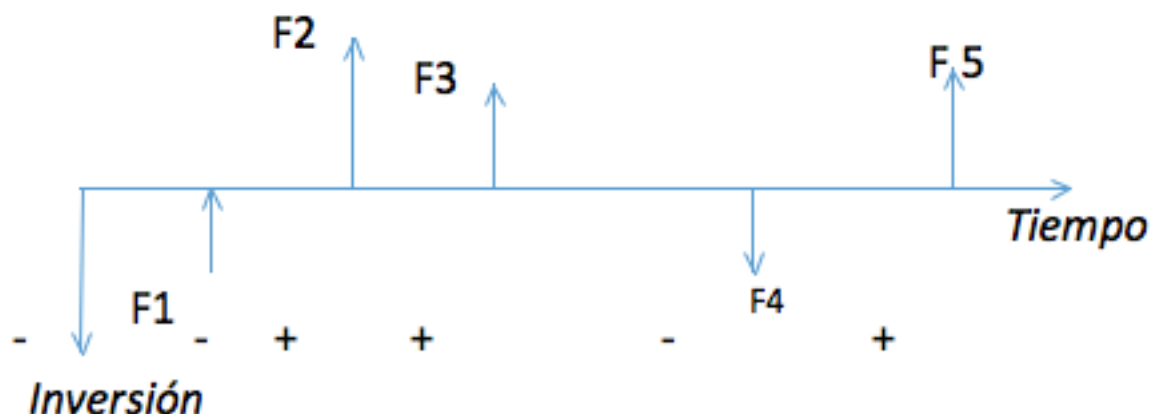


FIGURA 1.4 DIAGRAMA DE FLUJO DE CAJA NO CONVENCIONAL CON CAMBIO DE SIGNO (ROJAS. 2007)

En conclusión, antes de calcular la TIR se debe:

- Revisar el flujo neto de caja.
- Sí no hay cambio de signo (registro de ingresos y egresos), no se puede calcular la TIR.
- Sí el flujo de caja es convencional la respuesta puede ser única.
- Además de garantizar que hay cambios de signo, hay que establecer el número de cambios por cuanto ese valor puede ser el número de posibles soluciones.

### a) Tasa verdadera de retorno TVR

El cálculo de la TIR supone que los ingresos propios del proyecto son reinvertidos directa y automáticamente a la misma tasa, lo cual no necesariamente es cierto. Si este supuesto no se cumple es necesario acudir a otro indicador como herramienta de apoyo para los análisis y evaluación correspondiente. Además, en ciertos casos la TIR puede no existir o pueden presentarse múltiples TIR. Para evitar estos problemas puede utilizarse otro indicador: la tasa verdadera de retorno (TVR)

La TVR supone que la tasa de rentabilidad del proyecto es diferente a la rentabilidad a la que se invierten los flujos de caja de cada período, pues estos recursos cuentan con otras opciones para ser reinvertidos. Si el valor de la TIR es superior al de la tasa costo de oportunidad significa que la rentabilidad del proyecto es superior a la de la inversión alterna y por lo tanto se recomienda realizar el proyecto. La TIR supone que la tasa de rentabilidad del proyecto es diferente a la rentabilidad a la que se invierten los flujos de caja de cada período, pues estos recursos cuentan con otras opciones para ser reinvertidos. (Rojas. 2007)

### b) Relación beneficio/costo (B/C)

Este indicador consiste en la separación de los ingresos y los egresos del proyecto y la relación existente entre ellos. En este caso se suman todos los ingresos y los egresos del proyecto para cada período, recalculan sus valores presentes y se calcula la razón entre ellos:

$$B/C = VP \text{ Ingresos} / VP \text{ Egresos} \dots (\text{Ec.8})$$

Sin embargo, la relación B/C también puede ser entendida como:

$$B/C = (\text{beneficio} / \text{costo}) = B/C = VP (\text{beneficio}) / VP (\text{costos}) \dots (\text{Ec.9})$$

Para todos los casos:

- Costos: estimación de erogaciones para la construcción, operación y mantenimiento del proyecto, menos cualquier valor de salvamento.
- Beneficios: ventajas que experimentará el propietario o inversionista.
- Des beneficios: desventajas para el propietario cuando se lleva a cabo el proyecto en consideración. Las desventajas pueden consistir en desventajas económicas indirectas de la alternativa.

En conclusión, al evaluar por B/C se puede establecer:

- $B/C > 1,0$  financieramente es factible ( $VP \text{ beneficios} > VP \text{ costos}$ ).
- $B/C = 1,0$  financieramente es indiferente ( $VP \text{ beneficios} = VP \text{ costos}$ ).
- $B/C < 1,0$  financieramente no es factible ( $VP \text{ beneficios} < VP \text{ costos}$ ).

### c) Análisis incremental

Para aplicar el análisis incremental como medida de evaluación en los proyectos de inversión, se requiere darle una mirada a la clasificación de dichos proyectos desde una nueva perspectiva, a saber:

- Clasificación de los proyectos
  - Independientes: cuando más de un proyecto puede ser seleccionado, siempre y cuando sean factibles, o en su defecto no seleccionar alguno. Los proyectos independientes no compiten entre sí durante la evaluación, ya que cada uno es evaluado por separado.
  - Mutuamente excluyentes: dos o más proyectos son mutuamente excluyentes cuando uno de ellos excluye a los demás sólo después de la evaluación, y en el cual solamente un proyecto puede ser seleccionado porque es el mejor o el que menos perjudica los intereses de los inversionistas.

En otras palabras, se habla de evaluación por análisis incremental únicamente en proyectos mutuamente excluyentes, según la siguiente metodología:

- Se establecen los flujos de caja para un mismo horizonte (concepto VPN).
- Se halla la diferencia entre el mayor costo inicial y el otro costo (incremento), estableciendo B-A; necesariamente esta diferencia debe ser negativa.
- Se calcula el  $\Delta$  al incremento.
- Se calcula la TIR al incremento.
- Se calcula la TIR al incremento.
- Se interpretan los resultados, según el concepto de incremento.

Calculando el  $\Delta$  del incremento B-A se puede establecer:

- Si  $VPN(\text{incremento}) > 0$ , el incremento en términos financieros es atractivo por lo tanto se debe seleccionar B.
- Si  $VPN(\text{incremento}) = 0$ , el incremento en términos financieros es indiferente al seleccionar A o B.
- Si  $VPN(\text{incremento}) < 0$ , el incremento en términos financieros no es atractivo, por lo tanto se debe seleccionar A.

Calculando el TIR del incremento B-A se puede establecer:

- Si la  $TIR(\text{incremento}) > TCO$ , el incremento en términos financieros es atractivo, por lo tanto se debe seleccionar B.
- Si la  $TIR(\text{incremento}) = TCO$ , el incremento en términos financieros es indiferente al seleccionar A o B.
- Si la  $TIR(\text{incremento}) < TCO$ , el incremento en términos financieros no es atractivo, por lo tanto se debe seleccionar A.

#### **d) Análisis de riesgo del proyecto**

La formulación y evaluación de proyectos presume la existencia de varios supuestos como el tamaño de la demanda o los precios, entre otros, los cuales no necesariamente se cumplen en la ejecución del proyecto. Es por esto que el evaluador debe contemplar diferentes escenarios y verificar qué valores son cruciales para el proyecto. Las herramientas del análisis unidimensional y el multidimensional de sensibilidad son utilizados con este propósito.

#### **e) Análisis de sensibilidad unidimensional**

El objetivo de este análisis es plantear diferentes escenarios para el proyecto cambiando los valores iniciales de variables claves como el precio, los costos o las ventas, con el fin de determinar su impacto en los indicadores de evaluación, lo que puede llevar a revisar escenarios optimistas o pesimistas, si ese fuera el deseo.

En el análisis unidimensional se presentan diferentes escenarios de una sola variable (diferentes precios del producto) y se contrastan con los cambios presentados en los indicadores de evaluación. En el análisis multidimensional se involucran dos o más variables. (Rojas. 2007)

### 1.5.2 Evaluación económica

La evaluación económica y social consiste en determinar la rentabilidad del proyecto desde el punto de vista de la economía en su conjunto a precios de sombra o de eficiencia, para medir su efecto sobre la economía nacional.

Cuando se miden las ventajas del proyecto desde el punto de vista de la colectividad, es preciso utilizar las herramientas de la evaluación económica y social para apreciarlo desde una óptica macroeconómica.

Con la misma inversión prevista desde la formulación y evaluación financiera se consiguen otros efectos que son de acción externa a la empresa, tales como:

- Creación de empleo: al generarse empleo, los empleados y trabajadores con su gestión y acción hacen que la economía del país se desarrolle en muy variados sectores por cuanto ellos y sus beneficiados demandan comida, vivienda, vestido, recreación, salud, educación, etc.
- Tributación: el Estado atiende sus obligaciones con los impuestos que la empresa paga y son destinados para atender:
  - Gastos de funcionamiento
  - Inversión social
  - Pago y mantenimiento de la deuda

Además, la evaluación de la contribución del proyecto al logro de los objetivos socioeconómicos de orden nacional consiste en identificar índices que midan:

- Incremento de valor agregado
- Distribución del valor agregado entre grupos sociales o regiones geográficas
- Mejoramiento de la balanza de pagos
- Fomento de exportaciones competitivas
- Fomento de la sustitución eficiente de importaciones
- Creación de empleo

#### a) Impacto del proyecto

La ejecución del proyecto genera distintos efectos que causan impactos en los usuarios del mismo, en la organización que lo ejecuta y en la sociedad en general. El objetivo de la evaluación económica es predecir los distintos efectos que el proyecto genere, conocer a los agentes que pueden ser beneficiados, perjudicados o excluidos por el proyecto, predecir el impacto que los efectos tendrían en los agentes y cuantificar.

Al cuantificar los impactos positivos y negativos es posible compararlos entre sí, para luego confortarlos con los costos del proyecto y determinar su conveniencia.

### b) Impactos directos

Son los impactos más fáciles de identificar y se refieren a aquellos generados directamente por el consumo de los bienes y servicios producidos y utilizados por el producto. El principal objetivo de un proyecto es la producción de un bien o un servicio para satisfacer una necesidad. El proyecto genera un producto que será consumido por el principal cliente del proyecto: el consumidor final.

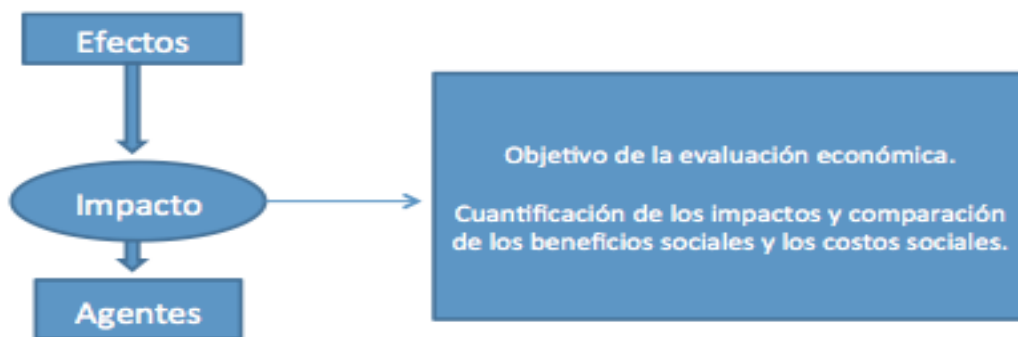


FIGURA 1.5 OBJETIVO DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA (BAUTISTA. 2010)

Según la teoría económica, un mayor consumo genera mayor bienestar en el consumidor. El consumo del bien o del servicio producido por el proyecto tiene, por lo tanto, un efecto positivo en el bienestar de la sociedad.

Este impacto también puede ser negativo. Si el proyecto utiliza recursos escasos que antes eran consumidos por otros agentes, el menor consumo de estos se considera como impacto negativo. Tal es el caso de un proyecto que implique la construcción de una planta industrial en un espacio verde donde antes la comunidad disfrutaba momentos de esparcimiento. La construcción de la planta implica privar a la comunidad de este espacio y por lo tanto genera un impacto negativo en ella.

### c) Impactos indirectos

El proyecto también puede tener impactos indirectos mediante la liberación de recursos que, luego de la ejecución, quedan disponibles para el uso de la sociedad. Los proyectos de reconversión de tecnología que buscan el uso más eficiente de recursos como la gasolina, tiene como consecuencia un menor uso de estos insumos. El resultado es una liberación de parte de estos insumos para su uso en otras actividades, las cuales producirán bienes y servicios que serán consumidos y por lo tanto causarán un impacto positivo. Es importante aclarar que estos bienes y servicios, aunque no son producidos por el proyecto, no hubieran podido producirse sin la liberación de recursos descrita y por eso son consecuencia indirecta.

### d) Identificación de impactos

Para realizar la identificación de impactos es necesario comparar la situación con proyecto y la situación sin proyecto, junto con los niveles de consumo y de utilización de recursos que se presentarían en cada escenario.

En la tabla 1.2 se resalta los impactos contra las situaciones para hacer una comparación y ver la factibilidad del proyecto socialmente.

Situación Impactos	Situación sin proyecto, ¿cómo sería el mundo si el proyecto no se realiza?	Situación con proyecto, ¿cómo sería el mundo si el proyecto se realiza?
DIRECTOS	¿Qué y cuánto consumirían los clientes del proyecto en caso de que este no exista?	¿Quiénes son los consumidores del producto del proyecto? ¿Cuánto consumen?
INDIRECTOS	¿Cómo se utilizarían los recursos que usa el proyecto? ¿Qué generarían?	¿Qué recursos son liberados con la utilización del proyecto? ¿Cómo se usarán?

**TABLA 1.2 IMPACTOS VS SITUACIÓN (BAUTISTA. 2010)**

El proyecto es factible socialmente en la medida en que la situación con proyecto arroje un mayor bienestar en la sociedad, comparado con la situación sin proyecto. Como puede observarse, este es un análisis DIFERENCIAL o INCREMENTAL, es decir, mide la diferencia entre ambas situaciones, lo cual es un indicador de las ventajas del proyecto.

La evaluación mide, entonces, el impacto del proyecto en el agregado nacional. Si un proyecto implica simplemente transferencia de recursos, como la venta de una empresa del Estado a manos privadas, no genera impacto alguno ya que en la situación sin proyecto la producción y el consumo serían los mismos que en la situación con proyecto. El pago de un subsidio por parte del gobierno implica una salida de recursos del Estado y una entrada de recursos para los subsidiados. Esta situación tampoco causará impacto a menos que el subsidiado obtenga mayor bienestar por el uso de estos recursos que el gobierno.

El reto del evaluador consiste en rastrear el impacto final del proyecto en términos de consumo. La liberación de recursos consecuencia del proyecto no es positiva si no se traduce en una mayor producción y consumo por parte de algún agente. Lo mismo se aplica para cambios en precios o en ingresos. El aumento de salarios es sólo un efecto, pero el aumento del consumo es un impacto positivo del proyecto pues aumenta el bienestar de los trabajadores.

#### **e) Cuantificación de los impactos del proyecto**

La cuantificación de los impactos del proyecto consiste en asignar un valor monetario al bienestar o malestar que el proyecto genera a los distintos agentes beneficiados o perjudicados. Esta cuantificación es más o menos difícil dependiendo de la información disponible para el evaluador, el cual debe enfrentar la complicada tarea de establecer cuánto vale el bienestar de una persona. Dependiendo del tipo de proyecto y la disponibilidad de información existen diferentes metodologías para realizar la cuantificación.

#### **1.5.2.1 Métodos basados en precios de mercado observados**

Se explican los métodos basados en precios de mercado observados, de precios cuenta de eficiencia y precios de mercado, precios cuenta de eficiencia en mercados imperfectos y costo de reposición y reubicación en seguida.

### **Precios cuenta de eficiencia y precios de mercado**

El precio cuenta o precio sombra de eficiencia es la sumatoria de la variación en el bienestar de todos los individuos afectados por el proyecto en una unidad del bien o servicio producido por él. Según la teoría económica, el precio de un bien en un mercado sin distorsiones es consecuencia de la negociación del consumidor y el productor, quienes llegan a un acuerdo de intercambio con un precio que refleja tanto la disponibilidad a pagar del primero, como los costos y la tecnología del segundo. De esta manera, los precios de mercado son los primeros indicadores del bienestar y sirven como cuantificadores de él. En teoría, si alguien paga \$ 5.000 pesos por un producto, es porque este producto le genera al menos \$ 5.000 pesos de bienestar.

### **Precios cuenta de eficiencia en mercados imperfectos**

La utilización de los precios de mercado como precios cuenta es válida sólo si son precios establecidos en un mercado perfecto, es decir, que cumplen las siguientes condiciones:

- Existen múltiples oferentes y demandantes. No hay monopolio, oligopolio, monopsonio, oligopsonio, o carteles
- No existen impuestos o subsidios que alteren el precio
- No existe control de precios
- No existen externalidades

Si se presenta cualquiera de estas situaciones el precio de mercado no es reflejo de la interacción libre de productor y consumidor y por lo tanto no refleja el bienestar social subyacente. En tal situación, el precio de mercado debe ajustarse para determinar el precio cuenta.

Este ajuste consiste en el cálculo del precio de eficiencia que existiría si la distorsión no estuviera presente. En el caso de un impuesto que aumenta el precio de un producto debe calcularse el precio si tal impuesto no existiera, tomando en cuenta el porcentaje que afecta el impuesto al productor y la disposición a pagar del consumidor.

### **Costo de reposición y reubicación**

Si un proyecto genera un impacto negativo en la población puede cuantificarse como el costo de volver a la condición inicial y, por lo tanto, brindar el mismo nivel de bienestar que poseía antes. En el caso del ejemplo de la planta industrial que ocupa la zona verde de esparcimiento de la comunidad, la valoración de este impacto negativo para la comunidad estaría dada por el costo de reponer un lugar de esparcimiento a la comunidad con las mismas características del original o el costo de reubicar ese espacio de recreación y esparcimiento. (Bautista. 2010)

#### **1.5.2.2 Métodos basados en preferencias reveladas**



Se explican los métodos basados en preferencias reveladas de costo de viaje y de precios hedónicos en seguida.

### **Costo de viaje**

El bienestar que genera un proyecto de naturaleza pública como un parque es bastante difícil de cuantificar debido a que no existe un precio de mercado ni transacción económica entre el proyecto y sus beneficiarios. Un método para esta cuantificación es tener en cuenta los costos de viaje, lo cual consiste en sumar los costos en que los usuarios del proyecto incurren para disfrutar del bien o servicio del proyecto. Supone que el bienestar de los consumidores se incrementa al menos en lo que gastan en llegar al parque. Se cuantifican los costos directos, tanto los de transporte, como el costo de oportunidad del tiempo invertido en el viaje.

### **Precios hedónicos**

Se basa en la teoría de los precios hedónicos desarrollada por Rosen. La estimación de precios hedónicos se aplica bajo el supuesto de que algunos bienes en la economía se caracterizan por un grado de heterogeneidad que determina su valor, como es el caso de las viviendas. De esta manera es posible construir un modelo que explique el valor del inmueble en función de sus características: área, estado del inmueble, número de habitaciones y de baños, existencia de áreas comunes, etc. Estas características y atributos pueden afectar de manera positiva o negativa el valor de la propiedad. Esta relación entre el valor del bien en función de sus características es llamada la función de precios hedónicos FPH.

La FPH tiene como finalidad diferenciar todos los atributos que tiene el bien, tratar de valorarlos independientemente y estimar cuánto inciden en el precio total.

La vivienda tiene como particularidad el hecho de poder desglosar sus características y asociar el valor del bien como un agregado de los valores de sus respectivas características, es decir, los precios hedónicos. De esta manera, el precio de una vivienda que cuenta con una vista agradable hacia un paisaje puede ser mayor al precio de una vivienda que no cuente con esta característica pero que sea similar en todos los demás aspectos. (Bautista. 2010)

#### **1.5.2.3 Método basados en preferencias declaradas valoración contingente**

Esta metodología utiliza una encuesta para cuantificar el bienestar generado por un proyecto. La encuesta contiene preguntas que indagan por la máxima disponibilidad del usuario para pagar por el bien o servicio producido por el proyecto.

En todas las metodologías se halla el valor del impacto individual del proyecto. El siguiente paso consiste en agregar estos impactos individuales y obtener el impacto agregado cuantificado. El resultado es un agregado de los beneficios y perjuicios del proyecto que puede ser comparado con los costos. Esta comparación puede realizarse fácilmente si se hace en un mismo momento del tiempo. Si el resultado de la cuantificación arroja beneficios y costos a través del tiempo debe utilizarse, como en el caso de la evaluación financiera, una tasa de descuento que permita esta comparación: la tasa social de descuento.

#### **1.5.3 Evaluación por medio de opciones reales**

En este apartado se da a conocer el tipo de evaluación y enfoque que tendrá este estudio, tales como la teoría de opciones reales. Puede encontrarse semejanza entre las funciones que representan los análisis financieros en los proyectos de investigación y desarrollo, ya que en este contexto la inversión estará emitida sobre el valor del proyecto a desarrollar.

Las opciones reales son una metodología utilizada en el análisis financiero pero adaptado a proyectos reales, y que evalúan con mayor precisión en un ambiente de cambios e incertidumbre.

Las opciones reales son un avance a los nuevos enfoques para evaluar un proyecto adecuado para un nuevo agro negocio, donde el producto participa como proveedor de una red de valor y se debe adecuar de inmediato a los cambios que se tienen para satisfacer las necesidades cambiantes del consumidor. Incluir en la evaluación el valor de la flexibilidad, permite evitar el rechazo de buenos proyectos de un agronegocio nuevo que sí agregan valor. No como sucede en la actualidad, que al aplicar la evaluación o metodología tradicional se rechazan buenos proyectos por la deficiencia en el instrumento que los subvalúa.

Una ventaja del método de opciones reales es que además de evaluar el activo real, también determina la política óptima que maximiza el valor de este proyecto. Esta estrategia está determinada por los valores críticos estos umbrales señalan cuando es óptimo ejercer las distintas opciones de las que se dispone, ejemplo, seguir, reducir, cerrar, diferir el proyecto.

- Diferir o posponer la inversión. Se conoce como una opción de aprendizaje ya que, aunque el VAN sea aceptable puede posponerse su aplicación.
- Ampliar. Si el proyecto está en marcha este puede tener una decisión de expansión o bien mejorar su competitividad.
- Reducir. Si se considera que el mercado es muy saturado se decide reducir, o bien vender acciones para obtener una mejor liquidez.
- Abandonar. Si no se obtienen los resultados esperados, se decide cerrar, abandonar o vender el proyecto. A esto se le conoce también como una opción de salida.
- Seguir. Esto si el proyecto se ejecuta de acuerdo a lo planeado.
- Cambiar. Si hay otras opciones de mercado, se puede decidir cambiar el producto.

Los nuevos instrumentos para valorar las inversiones en escenarios con incertidumbre o riesgosos es calcular el valor crítico que debe tener un proyecto en relación a la inversión más costos tomando en cuenta la volatilidad,  $\sigma^2$  (varianza) y la tendencia (media),  $X$ , de los precios reales o flujo de efectivo real.

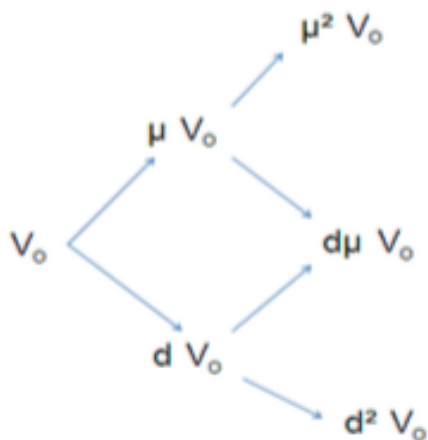
- **Árboles Binomiales**

En la actualidad se considera que un proyecto debe aceptarse o rechazarse si el VAN Totales positivo o negativo; un VAN Total está compuesto de la suma del VAN tradicional más el valor actual neto de las opciones reales, de la flexibilidad operativa. Este puede ser el caso de los negocios que empiezan en la Bioeconomía.

El modelo de árbol binomial considera mucho los tiempos en llevar a cabo un proyecto, pues estos tiempos tiene una fecha de inicio y otra de expiración los cuales son identificados perfectamente por nodos, cada uno de estos nodos del activo puede ir hacia arriba, o hacia abajo “d”, llevado por una probabilidad asociada “p” y “(1-p)”.

Consecuente a esto serán conocidas las probabilidades que se presenten a través de los periodos marcados determinado el valor del proyecto, y conociendo si el proyecto se lleva a cabo en una opción europea o americana. En las opciones reales europeas son las que pueden ser ejercidas solamente en una determinada fecha de expiración. Las opciones reales americanas serán ejercidas en cualquier momento hasta la fecha de expiración del proyecto.

FIGURA 1.6 MUESTRA DE EJECUCIÓN DE UN MODELO BINOMIAL (MUN. 2002)



Para llevar a cabo este método es necesario obtener las tasas de movimiento continuas de precios, con el uso de logaritmos naturales, pues a diferencia de las tasas discretas, las continuas pueden sumarse ya que parten de una misma base.

Para realizar el cálculo se utilizará la ecuación 10:

$$\hat{r} = \ln(\bar{1} + r) \dots(\text{Ec. 10})$$

donde:

$r$ = es la tasa discreta anual	$\hat{r}$ = es la tasa de crecimiento continua anual por periodo
---------------------------------	--

Después de haber obtenido la tasa de crecimiento continua, debe ser calculada la media muestra, para poder obtener la varianza. Sin embargo, una forma de calcular la varianza, es obteniendo la tasa de movimiento instantánea, mostrada en la fórmula 11:

$$X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i) \dots(\text{Ec. 11})$$

La fórmula 12 muestra cómo obtener la varianza a partir de las tasas de crecimiento continua y de movimiento instantánea.

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - X)^2 \dots(\text{Ec. 12})$$

El cálculo de la desviación estándar es una raíz cuadrada de la varianza mostrado en la fórmula 13, y este representa la volatilidad de los precios.

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} \dots(\text{Ec. 13})$$

Con los datos que se obtengan de los anteriores, se tendrá el up ( $\mu$ ), que es cuando va bien y del mismo modo el down (d), cuando va mal, llevado por una probabilidad asociada “p” y “(1-p)”. Estos datos se utilizarán para saber el valor de cada nodo en la construcción de un árbol binomial, partiendo de un valor presente; este será sucesivo hasta alcanzar los datos que se desean obtener o el tiempo hasta que se desee analizar; se ejemplifica en la figura 1.7, un árbol binomial de volatilidad.

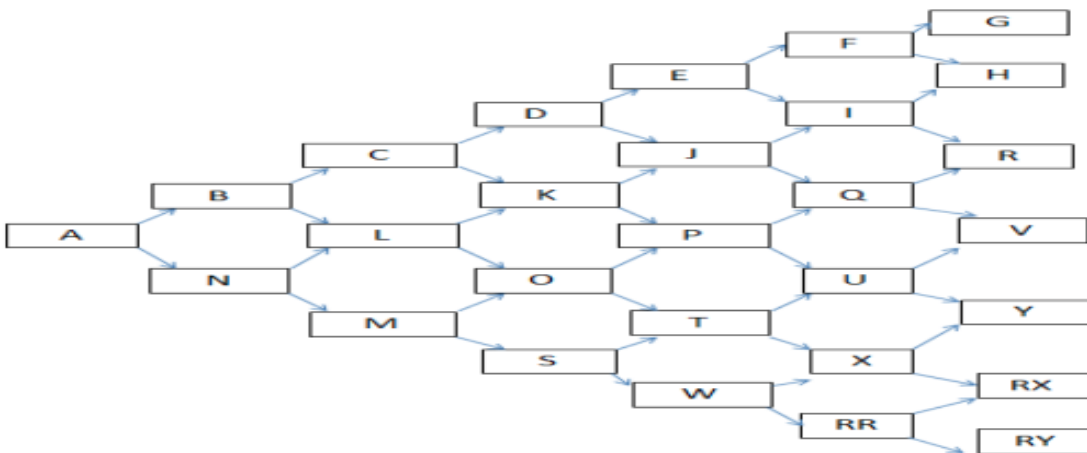


FIGURA 1.7 EJEMPLO DE UN ÁRBOL BINOMIAL DE VOLATILIDAD DE PRECIOS (MUN.2002)

Para el cálculo de cada nodo se debe partir de un valor presente, en este caso ejemplifiquemos con el nodo  $V_0$ , partiendo de la ecuación 14:

$$V_0 = \frac{pV_0(\mu) + (1-p)V_0(d)}{1+r} \dots(\text{Ec. 14})$$

donde:

$\mu$ = up	$p$ = probabilidad de subir	$V_0$ = valor presente del nodo
$d$ = down	$(1-p)$ = probabilidad de bajar	$r$ = tasa libre de riesgo, como cetes

El valor presente del flujo de efectivo del año cero no debe ser comparado con el valor presente del flujo de efectivo en cada año, esto solo se puede hacer con los valores del mismo año a calcular, sin embargo, si se quiere comparar, se debe pasar a valores de un solo año. Es por eso, que se debe realizar una división mandando los valores al año cero por  $(1 + r)$  elevado a la  $t$  que es el año, o bien multiplicar cuando se quiere mandar los valores a años adelante. La ecuación 15 que se muestra a continuación es cómo debe realizarse el cálculo de las probabilidades de cada nodo.

$$B = \frac{T!}{(T-n)!n!} P^n (1-P)^{T-n} \dots \text{(Ec. 15)}$$

donde:

P = probabilidad de que ocurra un evento positivo	T = Años transcurridos
1-p = probabilidad de que ocurra un evento negativo	n = nodos en que se está en un año determinado del proyecto

Los arboles binomiales son aplicaciones con diferentes opciones para ser llevados a cabo, estos son la opción americana y europea, a continuación, se da una breve explicación de cada uno.

- **Árbol binomial con opción americana**

El procedimiento es el de trabajar hacia atrás en el árbol, desde el final hasta el principio, estudiando cada nodo si es óptimo el ejercicio antes del vencimiento. Los precios de las acciones y sus probabilidades no cambian. Los valores para la opción en los nodos finales tampoco cambian. Cuando se manifiesta una opción de cobertura americana, está puede emplazarse en cualquier momento del proyecto. Los valores actuales, se pueden llevar al valor presente, para esto se modifica el valor de los nodos que estén por debajo de la opción americana tomando el valor de cobertura en cada nodo, en lugar del up y down. En la figura 1.8 se muestra una ejemplificación en un árbol binomial para entender mejor como llevar a cabo la opción americana.

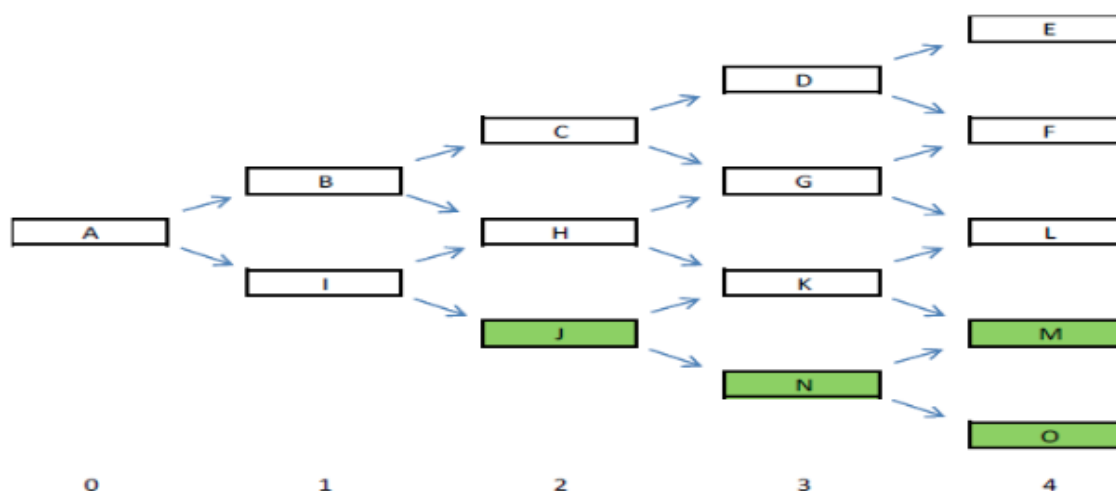


FIGURA 1.8 ÁRBOL BINOMIAL CON OPCIÓN AMERICANA (MUN. 2002)

En la opción americana cubre los nodos J, N, M y O la manera de llevar al valor presente estos nodos se toma por ejemplo el K que con el up el nodo L no sufre cambio, pero el valor del nodo M no será el que se obtuvo al multiplicar el valor inicial por el down, sino que cambiará por el valor de la cobertura, por tanto, el nodo K obtendrá un nuevo valor. Para el nodo N se toman los valores de los nodos M y O, como el valor de la cobertura, si este es mayor obtenido y se multiplican por la probabilidad aplicando la fórmula 5 llevándolo así sucesivamente hasta llegar al nodo A.

- **Árbol binomial con opción europea**

Al igual que la opción americana se trabaja desde el final hasta el principio, pero a diferencia de esta opción, la europea solo puede ser ejercida en la fecha de vencimiento. En la figura 1.9 ilustra el árbol binomial con esta opción.

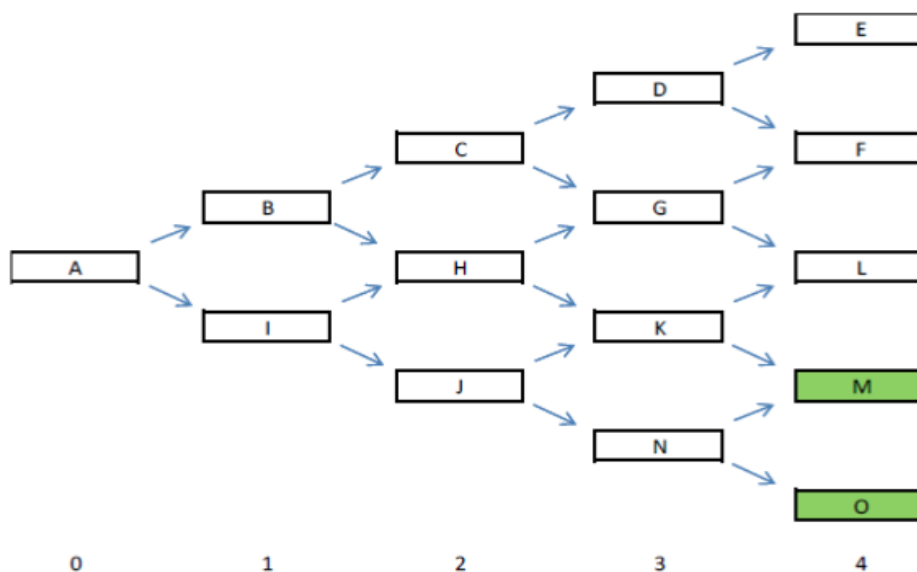


FIGURA 1.9 ÁRBOL BINOMIAL CON OPCIÓN EUROPEA (MUN. 2002)

Usando la opción europea en el último año del proyecto, entonces deben ser localizados los nodos que están por debajo de lo esperado y ser modificados por el valor de la cobertura llevándolo a su vez al valor presente para conocer el valor del proyecto hoy, pero con la posibilidad de ejercer la opción en el último año. Una vez elaborado esta opción puede mostrar al inversionista una garantía donde se presentan alternativas con pérdidas y abierta a sus ganancias. En las finanzas, una opción de estas características se conoce como “put” que es el derecho, pero no la obligación de vender a una fecha fija a un monto determinado.

## Capítulo 2 LA BIOMASA

### 2.1 Biomasa

La biomasa es la utilización de la materia orgánica como fuente energética. La biomasa abarca un amplio conjunto de materiales orgánicos que se caracteriza por su diversidad, tanto por su origen como por su naturaleza. En el contexto energético, la biomasa puede considerarse como la materia orgánica originada en un proceso biológico, espontánea o provocado, utilizable como fuente de energía. Estos recursos biomédicos pueden agruparse de forma general en agrícolas y forestales. También se considera biomasa la materia orgánica de las aguas residuales y los lodos de depuradora, así como la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, y otros residuos derivados de la industria. La valoración de la biomasa puede hacerse a través de cuatro procesos básicos mediante los que puede transformarse en calor y electricidad: combustión, degradación anaerobia, gasificación y pirólisis.

#### Tipos de biomasa

- a) **Biomasa natural:** las que se producen en ecosistemas naturales. La explotación intensiva de este recurso no es compatible con la protección del entorno.

- b) **Biomasa residual:** residuos de la agricultura y ganadería, industria forestal, madera y la industria agropecuaria.
- c) **Cultivos energéticos:** realizados con el único objetivo de su aprovechamiento energético, caracterizados por una gran producción de materia viva por unidad de tiempo.
- d) **Excedentes agrícolas:** constituidos por los productos agrícolas que no emplea el hombre.

Hacer uso de la biomasa como fuente energética a gran escala podría ayudar enormemente a reducir las fuentes de contaminantes por uso de combustibles fósiles, pero también si se empieza a cultivar para producir biomasa se descuida la agricultura, si se encuentra un balance esto ayudará al medio ambiente. La biomasa se puede usar, bien directamente o través de un proceso de combustión, o bien, transformándose en otras sustancias que a su vez se usan como combustibles. En general, este biocombustible no presenta unas buenas características energéticas comparadas con los combustibles fósiles, porque tienen una baja densidad energética y una alta humedad, y no se puede almacenar durante mucho tiempo porque se deteriora. Pero su potencial es lo suficientemente elevado para justificar el estudio y desarrollo de tecnologías que permitan un uso eficiente de la misma como fuente de energía.

Hoy en día la biomasa vegetal se utiliza para el consumo humano y animal o como materia prima para la industria, ya que la biomasa tiene muchas aplicaciones asociadas no se aprovecha el 100% de la biomasa vegetal, y en general una gran cantidad de productos orgánicos, consideradas como sustancias desechables o residuos. Uno de los objetivos de esta tesis es el aprovechamiento de estos residuos en las industrias que se conviertan en una materia prima y no en un desecho, a estas sustancias orgánicas procedentes del uso, transformación y consumo de la biomasa vegetal o primaria, con un contenido energético importante se le designa biomasa residual. (Nogués. 2010)

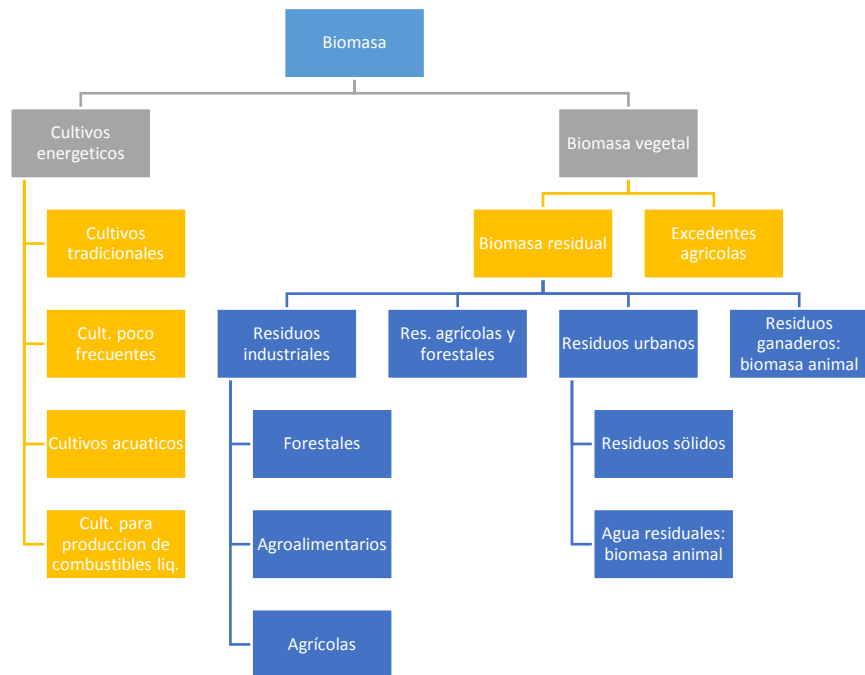


FIGURA 2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE BIOMASA (NOGUÉS. 2010)



El aprovechamiento de la biomasa residual puede ser directo, por medio de un proceso de combustión o indirecto, sometiéndolo a algún tratamiento o proceso de transformación que permita obtener sustancias más aptas para combustión. En los últimos años se ha recurrido al cultivo de plantas con un alto valor energético con el único objetivo de ser empleados como fuente de energía a esta biomasa se le designa cultivo energético y aunque no resultan competencia como fuente de energía primaria, las expectativas que ofrecen son interesantes por la viabilidad que suponen. Si consideramos los excedentes agrícolas los cuales suelen ser un desecho se pueden considerar como biomasa para ser aprovechados con fines energéticos. En este caso, su uso como fuente de energía primaria necesita un proceso previo de transformación para obtener biocombustibles líquidos.

La bioenergía se obtiene mediante procesos físicos (triturado, astillado, compactado, secado) químicos (hidrólisis, pirólisis, y gasificación) biológicos (fermentación), termoquímicos (altas temperaturas de 300° C a 1500°C). Para generar la electricidad se utilizan sistemas convencionales, ya sean calderas para producir vapor que se conectan a turbinas de vapor o motores de combustión interna, ambos equipos se conectan mecánicamente con un generador eléctrico.

Generalmente la energía que se produce por medios biológicos, es consumida en las instalaciones donde se genera, como en el caso de los ingenios azucareros, donde a través de la quema del bagazo de caña se produce el vapor necesario para el proceso azucarero y posteriormente para generar metano (biogás) de la excreta porcina, el cual se utiliza para generar electricidad. El caso de los rellenos sanitarios es diferente, ya que, a partir del metano, producto de la fermentación de la basura orgánica, se genera electricidad, la cual se utiliza, principalmente, para el alumbrado público u otros servicios municipales, como en el caso de la Ciudad de Monterrey, donde el Sistema de Transporte Colectivo Metrorrey (SENER, Prospectiva de energías renovables, 2016), funciona con el 82% de bioenergía en estos casos, es necesario contar con líneas de transmisión.

La principal ventaja ambiental de la producción de energía con recursos renovables es la prácticamente nula emisión de GEI y otros contaminantes.

Carbón	Combustóleo	Gas natural	Biomasa	Eólica	Solar
1kg.	860gr.	400gr.	Ogr.	Ogr.	Ogr.

**TABLA 2.1 GENERACIÓN DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub> POR 1 KWH (INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA. 2008)**

La utilización de la biomasa pura como combustible tiene unas emisiones consideradas neutras, en el sentido de que el CO<sub>2</sub> emitido en la combustión ha sido absorbido previamente de la atmósfera.

El consumo de energía eléctrica (KWh per cápita) en nuestro país es de 2,012 KWh, en Estados Unidos de Norteamérica es de 12,954KWh, en España es de 5,573 KWh.

### 2.1.1 Criterios para la selección de biomasa

Los objetivos marcan el tipo de inventario o evaluación de recursos de biomasa a realizar, que puede ser de los tipos siguientes:

- o Inventarios de planificación: son evaluaciones de recursos de zonas amplias como un país, una región o una provincia. El objetivo de estos inventarios es la planificación energética.
- o Inventarios de proyecto: se llevan a cabo para evaluar la viabilidad de un proyecto de generación de energía con biomasa, en este tipo de inventario se evalúan los recursos disponibles y explotables de

manera sostenible en un horizonte de tiempo similar a la vida útil del proyecto clasificándolos en función de aspectos clave como el costo de aprovisionamiento y el impacto ambiental.

En el ámbito de la biomasa las evaluaciones de planificación se pueden emplear para la localización previa de emplazamientos, mientras que las evaluaciones de proyecto permitirán analizar la viabilidad de plantas termoeléctricas o de cogeneración.

Los recursos evaluados se pueden clasificar atendiendo a criterios de accesibilidad, de la siguiente forma:

- o Recursos potenciales: todos los existentes sin considerar ningún tipo de condicionante para su uso.
- o Recursos disponibles. Son los recursos potenciales una vez excluidos los que ya están siendo utilizados y la competencia por los mismos no es posible. También se excluirán aquellos que, por razones medioambientales, de propiedad, u otras de índole no tecnoeconómica no se puedan obtener.
- o Recursos utilizables/recolectables técnicamente: son los recursos disponibles que pueden ser recolectados y usados con las limitaciones impuestas por la tecnología que se utilice en su recolección.
- o Recursos utilizables/recolectables económicamente: aquellos disponibles cuyos costes de recolección y transporte no superan un valor umbral fijado de antemano. (Nogués. 2010)

### 2.1.2 Potencial de la biomasa en México para la generación eléctrica

En 2014, México contaba con una capacidad instalada de generación eléctrica de 67,000 MW. La Comisión Federal de Electricidad (CFE) operaba el 61% de la capacidad, los productores independientes de energía generaban el 19%, y un 20% se produce bajo la modalidad de autoabastecimiento. El país tenía 90,000 kilómetros de líneas de transmisión de 110 a 440 kV, y 735 mil km de líneas de distribución.

En 2014, de los 55,000 MW instalados para el servicio público, 12,900 MW correspondían a generación con energías renovables, mientras que 19,800 MW se generaban en centrales de ciclo combinado. En el periodo 2013-2027, la capacidad instalada de generación distribuida de energía proviene de fuentes renovables podría aumentar de 1.7% a 12 % del total; de esta capacidad se espera que 56% provenga de energía solar fotovoltaica, 18% de biomasa y 17% de plantas eólicas entre otras. (SENER, Prospectiva de energías renovables, 2016). En la tabla 2.2 se presenta la generación eléctrica actual por energías renovables en MW producida por CFE y por la industria privada, más la sumatoria total, si la energía renovable no genera se pone N.G. las energías renovables son geotérmica, hidráulica, oceánica, eólica, solar y biomasa. Mientras que en la tabla 2.3 se presenta el inventario actual de las energías renovables con el número de unidades instaladas y su capacidad instalada en MW, más la generación eléctrica anual (GWh/a).

Energía	Geotérmica	Hidráulica		Oceánica	Eólica	Solar	Biomasa
		>30MW	≤30MW				
CFE	6,000	36,989	1,084	N.G.	213	12	N.G.

Privados	N.G.	50	698	N.G.	5,874	72	1,399
Total México	6,000	37,039	1,782	N.G.	6,087	84	1,399

**TABLA 2.2 GENERACIÓN ELÉCTRICA ACTUAL POR ENERGÍA RENOVABLE (SENER, INVENTARIO NACIONAL DE ENERGÍAS RENOVABLES, 2015)**

Tipo de energía	No. de unidades	Capacidad instalada (MW)	Generación eléctrica anual (GWh/año)
Solar	279,327	66	84
Eólica	1,668	1,963	6,087
Hidráulica	216	12,440	38,821
Geotérmica	38	823	6,000
Biomasa	208	630	1,399
Total	281,457	15,922	52,391

**TABLA 2.3 INVENTARIO ACTUAL (SENER, INVENTARIO NACIONAL DE ENERGÍAS RENOVABLES, 2015)**

En México, la contribución energética de la biomasa (2.5%) ha sido tradicionalmente aportado por la leña y el bagazo de caña, no obstante, existen otras fuentes importantes todavía insuficiente aprovechadas, como los residuos forestales, agua residual, basura urbana y residuos agropecuarios. La bioenergía cuenta con una capacidad instalada en operación de 630.43 MW, con una generación eléctrica anual de 1,399.33 (GWh/año).

En 2012, se registraron en el país 62 proyectos en operación para la cogeneración y autoabastecimiento de energía eléctrica a partir de la biomasa. En la figura 2.2 se podrá observar la capacidad instalada y la generación eléctrica anual por estado y por tipo de combustible. (SENER, inventario nacional de energías renovables, 2015)

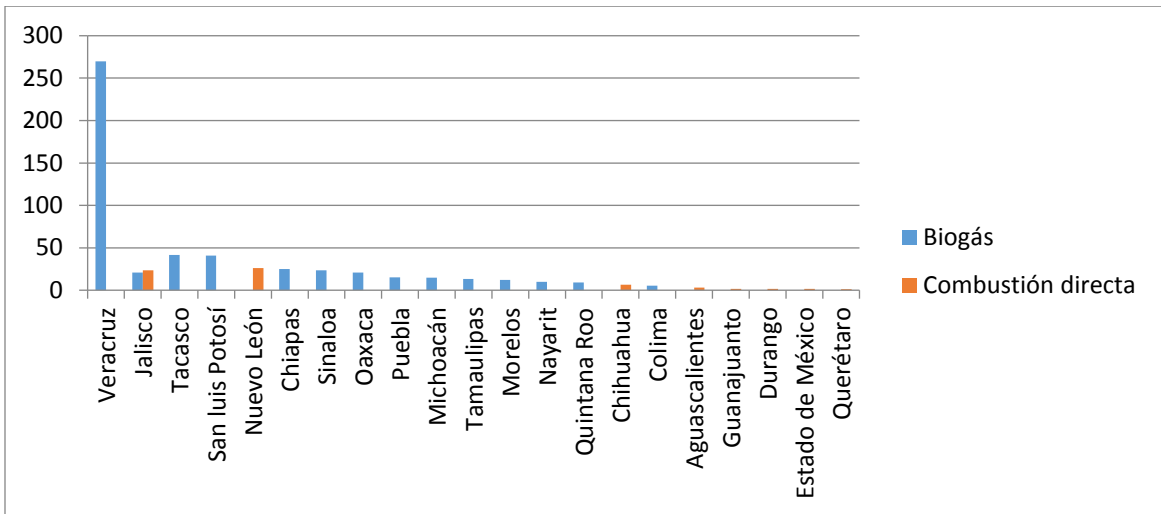


FIGURA 2.2 CAPACIDAD INSTALADA EFECTIVA ACTUAL A PARTIR DE LA BIOMASA (SENER, INVENTARIO NACIONAL DE ENERGÍAS RENOVABLES, 2015)

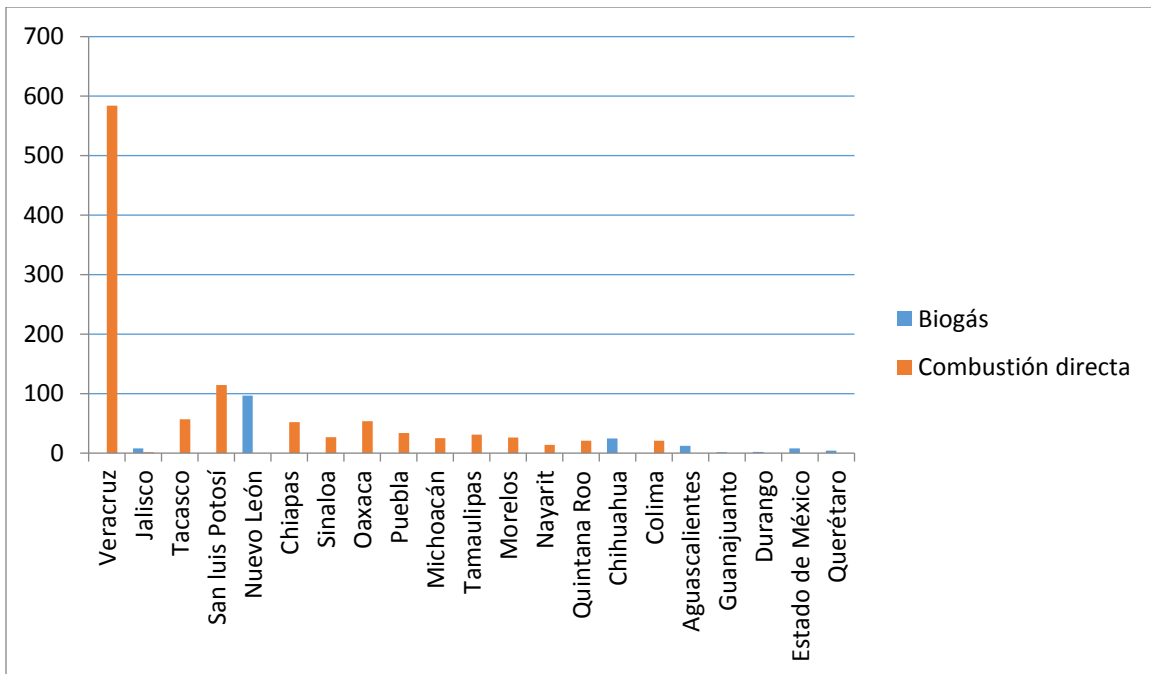
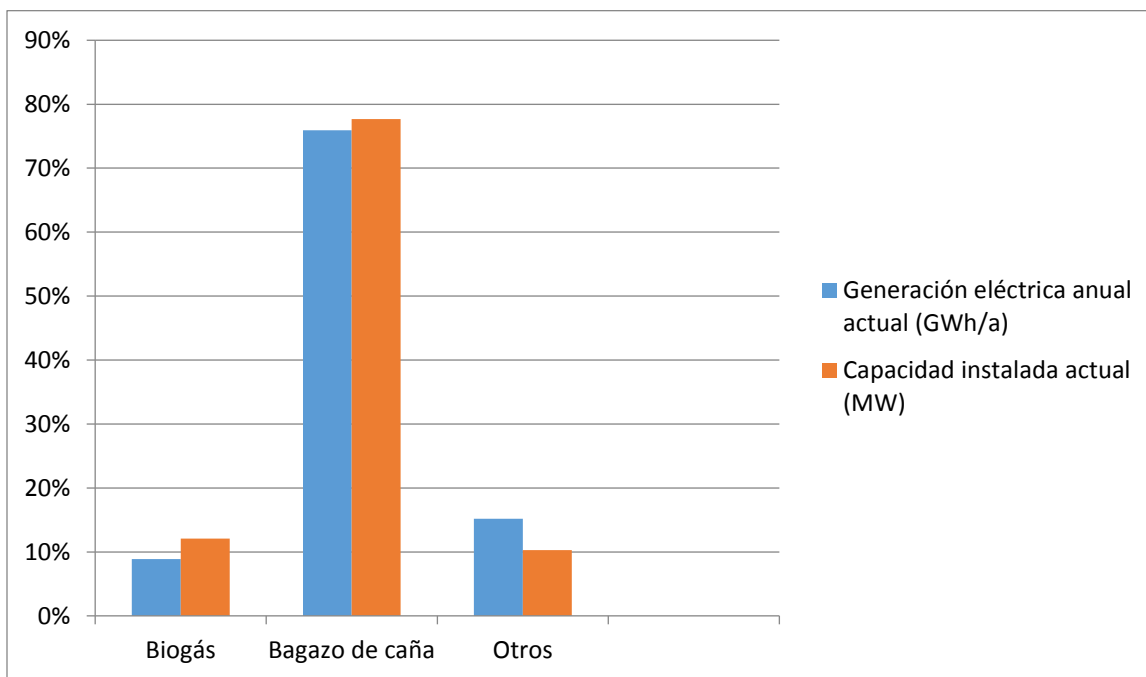


FIGURA 2.3 CAPACIDAD INSTALADA ACTUAL Y GENERACIÓN ELÉCTRICA ANUAL A PARTIR DE LA BIOMASA (SENER, INVENTARIO NACIONAL DE ENERGÍAS RENOVABLES, 2015)

Los elementos de coste logísticos y la incertidumbre, a lo largo plazo, en el acceso a los recursos para generar energía con biomasa, hacen que la generación actualmente se concentra en industrias que en sus procesos generan residuos aprovechables, como son la industria azucarera y la papelera y de celulosa. El bagazo de caña es la principal fuente de bioenergía que se utiliza en los ingenios azucareros para la producción de calor y electricidad para autoconsumo. Se estima que actualmente se aprovechan 100 PJ de bagazo al año equivalentes al 1.2% de la oferta interna bruta de energía.

En México el uso tradicional de la leña aporta el 3% de la oferta interna de energía, lo que representa el 28% de la energía consumida por el sector doméstico. Se estima que este combustible es usado por alrededor de una cuarta parte de la población en fogones tradicionales.

En la figura 2.4 se observa que el bagazo de caña es el principal residuo orgánico que se ha utilizado como combustible para generar energía, el mayor desarrollo de generación de energía con base en fuentes biológicas se ha dado en los ingenios azucareros. Actualmente, en estos se generan 1,230.64 GWh/año; la mayor generación se produce en el ingenio ubicado en Tres Valles, Veracruz, con una capacidad instalada de 40 MW y una generación de 159.34 GWh/año.



**FIGURA 2.4 CAPACIDAD INSTALADA Y GENERACIÓN ELÉCTRICA POR TIPO DE COMBUSTIBLE (SENER, INVENTARIO NACIONAL DE ENERGÍAS RENOVABLES, 2015)**

### Inventario Nacional de Energías Renovables

El estado que participa con el 34.1% (214.71MW) en la capacidad instalada y el 32.8% (458.88GWh/a) en la generación eléctrica anual a partir del uso de bagazo de caña es Veracruz. Actualmente, la generación de electricidad mediante biogás es de 169GWh/a. El mayor desarrollo se encuentra en Salinas Victoria, Nuevo León, con 95.8GWh/a; la energía generada se utiliza para mover el metro de Monterrey.

De acuerdo a estudios realizados en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), tenemos potencial para producir aproximadamente 400MW tan solo con las 100 mil toneladas de basura diarias que se generan en la República Mexicana. (SENER, inventario nacional de energías renovables, 2015)

#### 2.1.3 Potencial de la biomasa en el mundo para la generación eléctrica

En las últimas décadas, la reestructuración del sector eléctrico que se viene realizando en el mundo para transitar de un modelo de generación con recursos fósiles a otro con recursos renovables representa una de las transformaciones más importantes en materia económica. En 2012, los países con la mayor participación de fuentes renovables en su generación de electricidad fueron Brasil, Canadá, Chile y España. Sin embargo, la

participación conjunta de estos países en la generación mundial de energía con recursos renovables sólo representó el 19.75%, mientras que la contribución de China fue de 20.88%.

País/ Región	Participación de recursos renovables a nivel nacional (%)	Hidroeléctrica % del total	Eolo-Eléctrica % del total	Geotermo- eléctrica % del total	Solar % del total	Bio- Energéticos % del total	Contribución a la generación renovable global (%)
China	16.9	17.33	1.91	0.003	0.13	0.67	20.88
E.U.A	12.7	6.95	3.31	0.423	0.23	1.49	11.03
Brasil	87.1	75.18	0.91	0.000	0.00	6.38	9.44
Canadá	62.3	56.84	1.78	0.000	0.05	1.42	7.90
Japón	12.9	8.09	0.47	0.252	0.67	3.21	2.72
Alemania	20.5	4.42	8.05	0.004	4.19	7.09	3.10
España	30.4	8.12	16.63	0.000	4.02	1.67	1.88
México	15.9	10.84	1.24	1.980	0.02	0.95	0.91
Chile	39.6	28.90	0.59	0.000	0.00	6.96	0.53
Corea	2.0	1.43	0.17	0.000	0.21	0.21	0.22
OCDE Total	19.6	13.4	3.50	0.411	0.84	2.48	46.34
Mundo	20.3	13.54	1.88	0.253	0.37	1.37	100.0

**TABLA 2.4 GENERACIÓN ELÉCTRICA A PARTIR DE FUENTES RENOVABLES PARA PAÍSES SELECCIONADOS. (SENER, PROGRAMA DE DESARROLLO DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL. 2015)**

## LEY DE PROMOCIÓN Y DESARROLLO DE LOS BIOENERGÉTICOS (LPDB)

La LPDB tiene por objeto la promoción y desarrollo de los bioenergéticos con el fin de coadyuvar a la diversificación energética y el desarrollo sustentable, procurando la reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera y gases de efecto invernadero.

La LPDB promueve: la producción de insumos para bioenergéticos, a partir de las actividades agropecuarias, forestales, algas, procesos biotecnológicos y enzimáticos del campo mexicano; el desarrollo de la producción, comercialización y uso eficiente de los bioenergéticos para contribuir a la reactivación del sector rural, la generación de empleo y una mejor calidad de vida para la población, en particular las de alta marginalidad; el desarrollo regional y el de las comunidades rurales menos favorecidas; así como, la reducción de emisiones

contaminantes a la atmósfera y gases de efecto invernadero, utilizando para ello los instrumentos internacionales contenidos en los Tratados en que México sea parte. Además, establece la coordinación de acciones entre los Gobiernos Federal, Estatales, Ciudad de México y Municipales, así como la concurrencia con los sectores social y privado, para el desarrollo de los bioenergéticos.

## 2.2 Gasificación

La gasificación es un proceso termoquímico en el que la materia carbonada es transformada en un gas combustible con poder calorífico, mediante una serie de reacciones que ocurren promovidas por altas temperaturas en presencia de un agente gasificante. El gas de gasificación resultante permite aprovechar dicha biomasa en turbinas de gas, ciclos combinados o motores alternativos de combustión interna. Tras el calentamiento inicial que promueve el craqueo de las componentes de la biomasa (pirólisis), las fracciones orgánicas ligeras se escapan de la materia sólida y se recombinan, gracias a las altas temperaturas locales, con el agente gasificante, con los gases reactivos introducidos en las zonas donde se prevé tengan lugar las reacciones de gasificación. Existe una gran variedad de agentes gasificantes como, por ejemplo: hidrógeno, vapor de agua, oxígeno o aire. Los gases producidos con cada uno de ellos difieren evidentemente, en su composición final y en sus propiedades como combustible.

El aire es un agente gasificante muy utilizado actualmente debido a que es un fluido abundante y barato, frente al hidrógeno, el vapor de agua o el oxígeno, que necesitan procesos previos de síntesis. La gasificación con aire resulta económica y suele utilizarse en aplicaciones de pequeña escala. En la gasificación con aire, este se introduce en defecto respecto del necesario para una combustión completa. De esta manera se produce una combustión parcial local en el seno del material que permite calentarlo, sin necesidad de otros sistemas de calentamiento externo como intercambiadores de calor o cámaras de combustión externas. Los gases devolatilizados restantes a alta temperatura, y en ausencia de oxígeno, experimentan reacciones químicas de tipo reductor para formar compuestos estables, bien sean inertes ( $\text{CO}_2$ ) o combustibles ( $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ). El gas resultante consta de los gases generados y una importante cantidad de  $\text{N}_2$ , que se ha introducido con el aire como agente gasificante.

Como producto se obtiene un gas combustible, una fracción alquitranosa que condensa al enfriarse el flujo gaseoso y una parte sólida constituida por las cenizas. El gas obtenido puede aprovecharse para su aprovechamiento energético mediante distintos procesos (combustión en motor, turbina o caldera). El objetivo final es la generación de energía eléctrica y/o cogeneración (eléctrica y aprovechamiento del calor residual). (Bridgwater. 1989)

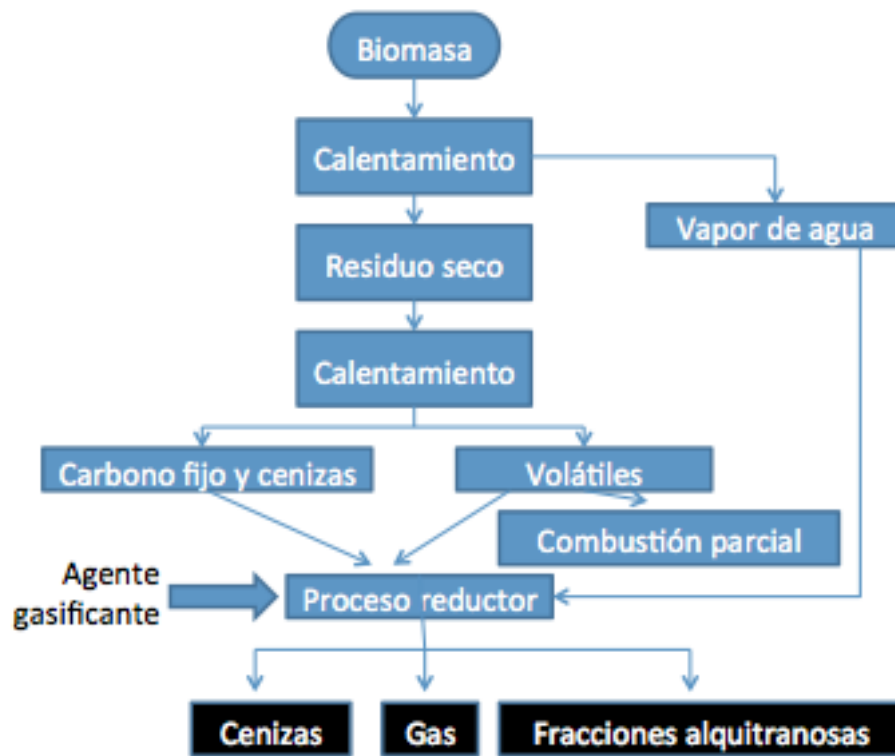


Figura 2.5 Diagrama de las fases existentes en los procesos de gasificación (Bridgwater. 1989)

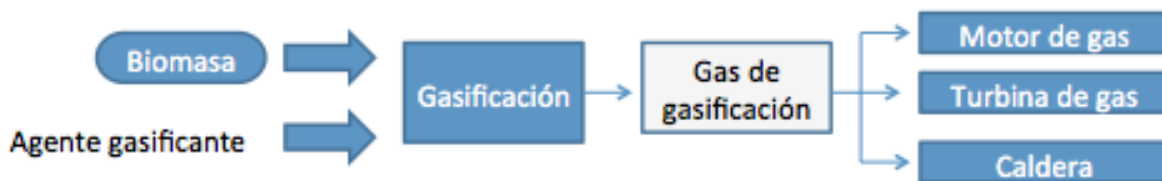


Figura 2.6 Objetivos y aplicaciones del gas obtenido por gasificación de la biomasa (Bridgwater. 1989)

La gasificación puede llevarse a cabo también con el resto de agentes gasificantes. En el caso del oxígeno el proceso es muy similar. La mayor diferencia es que se obtiene un gas con mayor poder energético por unidad de volumen (siendo el CO y el H<sub>2</sub> las fracciones principales), ya que la gasificación con aire introduce una importante cantidad de nitrógeno molecular no reactivo en el gas. La gasificación con vapor de agua permite incrementar la proporción de H<sub>2</sub> respecto de la proporción de CO, y consigue poderes calorífico equivalentes a la gasificación con oxígeno. Finalmente, la gasificación con hidrógeno permite obtener un gas de gasificación y de las exigencias que deban tomarse según sus propiedades, se elegirá la gasificación con uno u otro agente.

### 2.2.1 Proceso de los gasificadores

Generalmente se consideran dos criterios para clasificar los procesos de gasificación de biomasa, según el agente gasificante utilizado y según el movimiento relativo entre el agente gasificante y el sólido.



## Agentes gasificantes

La gasificación se puede realizar con diferentes agentes gasificantes como aire, oxígeno, o vapor de agua entre otros.

1. **Con aire:** Se introduce un defecto de aire respecto del estequiométrico necesario para la combustión total de la biomasa de manera que el oxígeno contenido en el esquema una parte de la biomasa procesada, aportando así la energía necesaria para mantener el proceso. Al utilizarse aire, el nitrógeno contenido en el actúa como diluyente del gas producido, por lo que su poder calorífico ser bajo ( $<6 \text{ MJ/m}^3\text{n}$ ). Este gas puede emplearse como combustible en quemadores de calderas o turbinas de gas, o en motores de combustión interna.
2. **Con oxígeno:** El proceso es prácticamente el mismo que el anterior, pero la calidad del gas es mayor, pues no se encuentra diluido con el nitrógeno del aire. El poder calorífico del gas producido suele ser del orden de  $10\text{-}12 \text{ MJ/M}^3\text{n}$ . Las aplicaciones son las mismas que en el caso anterior, y además este proceso se puede utilizar para obtener gas de síntesis para metanol ( $\text{CO/H}_2$ ).
3. **Con vapor de agua:** La gasificación con vapor de agua es un proceso endotérmico en el que se produce un gas de poder calorífico medio ( $10\text{-}12 \text{ MJ/M}^3\text{n}$ ) enriquecido en hidrógeno y monóxido de carbono, por lo que se puede utilizar como gas de síntesis para diversos compuestos (amoníaco, metanol, gasolinas, etc.).
4. **Con vapor de agua y oxígeno:** Para aportar la energía necesaria al proceso de gasificación con vapor de agua puede introducirse conjuntamente con él una cantidad de oxígeno, de manera que mediante la combustión parcial de la biomasa procesada se genera la energía necesaria para mantener el proceso de gasificación con vapor. El poder calorífico del gas producido disminuye ligeramente respecto a la gasificación con solo vapor. Las aplicaciones del gas obtenido son las mismas que para el caso anterior.
5. **Otros agentes gasificantes:** La utilización de otros agentes gasificantes como por ejemplo el hidrógeno, es posible y permite obtener gas de gasificación con propiedades muy variadas. En el caso del hidrógeno, el gas obtenido tiene una alta pureza en hidrógeno y metano, posee un alto poder calorífico y se utiliza como sustituto del gas natural. (Bridgwater. 1989)

### 2.2.2 Tipos de gasificadores

**Lecho móvil en contracorriente o updraft.** Es la forma más simple de lecho móvil. Se denomina así porque el sólido alimentado y el gas producto se mueve dentro del lecho en sentidos opuestos, normalmente el sólido en sentido descendente y el gas en sentido ascendente. La biomasa entra por la parte superior, donde se encuentra con los gases procedentes de la parte inferior, originados en las fases de pirolisis y reducción. El sólido (biomasa), al ir descendiendo, va encontrando cada vez temperaturas más altas, de modo que inicialmente se seca y después sufre una pirolisis o descomposición térmica.

Los gases generados ascienden con el resto de los gases, escapándose también parte de los alquitranes y los vapores condensables generados. El char obtenido en la pirolisis sigue descendiendo, encontrándose con los gases de combustión y el propio agente gasificante, y en la zona central sufre el proceso de reducción. Al seguir descendiendo hasta la zona inferior, el sólido remanente encuentra la corriente de agente gasificante (con

oxígeno), llevándose a cabo la oxidación o combustión y haciendo que se alcancen temperaturas muy altas en esta zona. (Bridgwater. 1989)

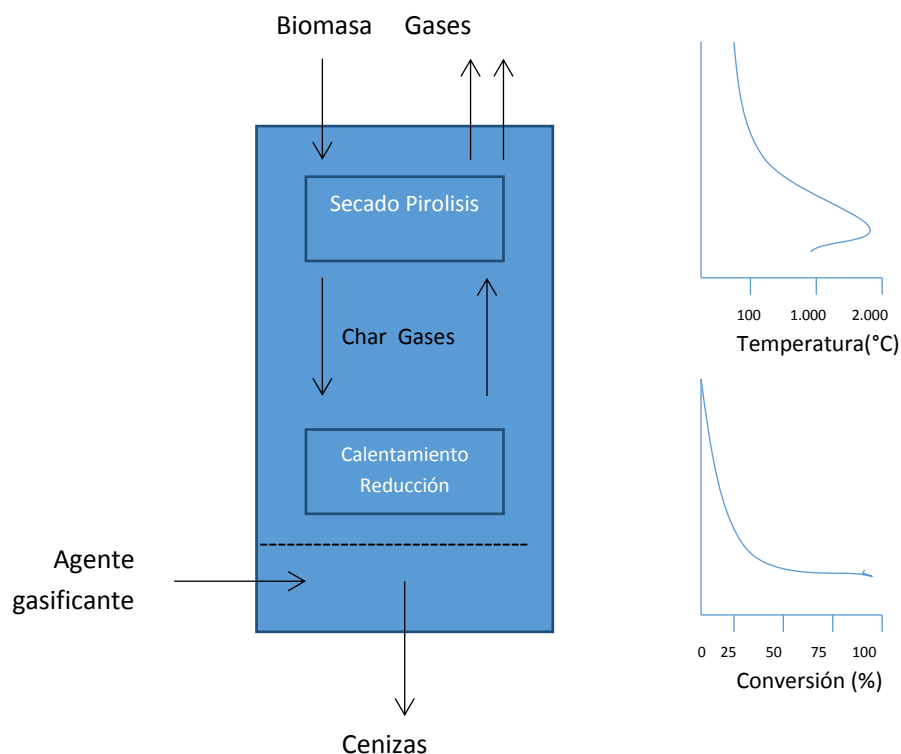


Figura 2.7 Flujo de materia y perfiles de temperatura y conversión en un reactor updraft (Bridgwater. 1989)

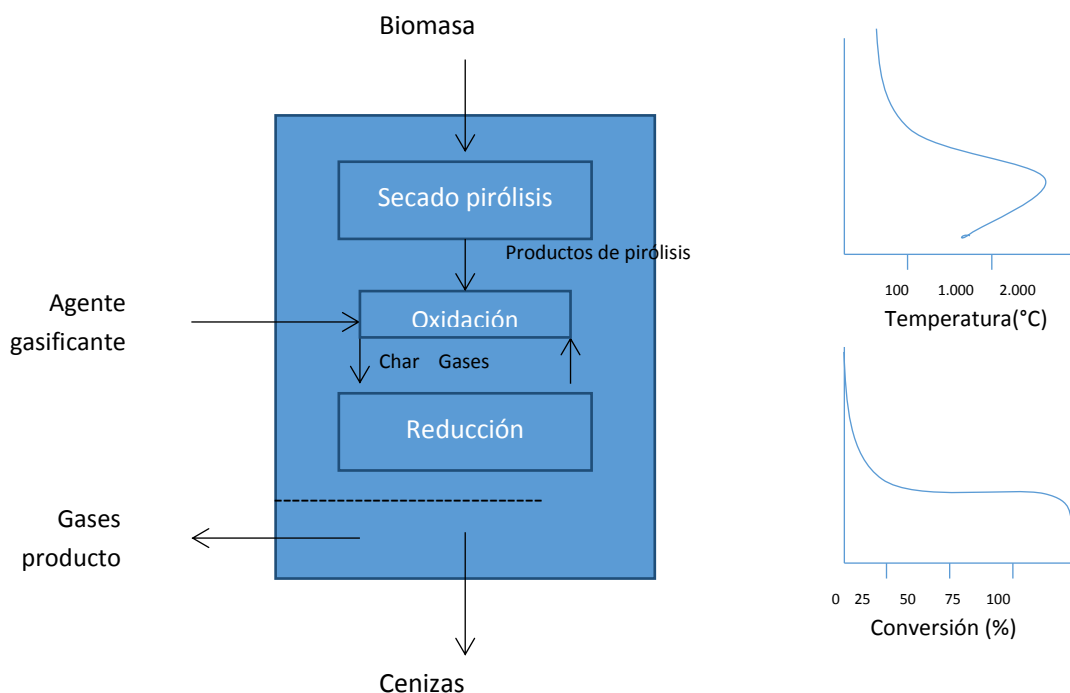
El gas producto contiene una elevada cantidad de alquitranes e hidrocarburos que contribuyen a elevar su poder calorífico. Como la temperatura del gas producto es baja, entre 70 y 300°C, los alquitranes se encuentran en forma de aerosoles en el gas. Esto no supone un problema importante si el gas es usado directamente en aplicaciones de producción de calor, en las cuales los alquitranes son simplemente quemados. Sin embargo, si el gas va a ser alimentado a turbinas o motores será necesaria la instalación de un sistema de limpieza.

Las principales ventajas de un gasificador updraft son su relativa sencillez de construcción y operación u su elevada eficacia térmica. El calor sensible del gas producido es recuperado mediante el calentamiento por contacto directo de la alimentación que es secada, calentada y pirolizada antes de alcanzar la zona de gasificación. Por otra parte, el gas contendrá un bajo contenido en sólidos debido al tamaño de partícula de la biomasa empleada y a la baja velocidad del gas. En principio, aunque no existe una importante limitación de escala hasta el momento no se han construido grandes reactores de este tipo.

**Lecho móvil en corrientes paralelas o downdraft.** En este caso, el sólido y el gas se mueven en el mismo sentido, normalmente descendente. El sólido que entra por la parte superior sufre sucesivamente los procesos de secado y pirolisis a medida que va descendiendo en el lecho y va encontrando temperaturas más altas. Este aumento de temperatura se produce debido a que en la parte inferior se está produciendo la combustión de los productos de pirólisis (char y tras o alquitranes), desprendiendo calor. Estos char y tras se queman en la zona de combustión, quedando una parte de char sin quemar, que sigue descendiendo y sufre la etapa de reducción o gasificación al reaccionar con los productos de la combustión. Los gases producto se obtienen por la parte inferior del gasificador.

Una de las características más importantes de este proceso es la obtención de un gas producto con un bajo contenido en alquitranes. Esto se debe a que los alquitranes (producto de la pirólisis) son forzados a atravesar una zona de alta temperatura (la de oxidación) en la que son craqueados o quemados, reduciendo su proporción en el gas producto. Generalmente, se reduce la sección del gasificador mediante la construcción de un estrechamiento llamado garganta en un lugar situado ligeramente por debajo del punto de inyección del agente gasificante. De este modo, se logra que todos los tars generados atraviesen esa zona de alta temperatura.

Esta clase de gasificador, además de ser de fácil construcción y operación, permite gasificar aceptablemente biomasa relativamente secas (<30% de humedad), trituradas o peletizadas, con dimensiones de 1 a 10 cm y un bajo contenido en cenizas (<1% en peso). La necesidad de mantener una determinada relación entre el tamaño de partícula de la biomasa procesada y el diámetro del gasificador limitan la capacidad de procesamiento a un máximo del orden de 500 kg/h o 500 kWe. La eficiencia energética global del proceso es baja debido a la alta temperatura del gas de salida del gasificador (del orden de 400-600°C). (Bridgwater. 1989)



**Figura 2.8 Flujo de materia y perfiles de temperatura y conversión en un reactor downdraft (Bridgwater. 1989)**

Un gasificador downdraft empleando aire como agente gasificante parece ser la configuración más adecuada para la obtención de electricidad a pequeña escala dado que, como se ha comentado anteriormente, este tipo de gasificador produce un gas con bajo contenido en alquitranes y otros condensables, lo que permitirá emplear un sistema de limpieza sencillo reducido considerablemente los costes del proceso global. Este gas puede ser empleado directamente en quemadores de calderas y turbinas de gas, o si se enfría previamente, en motores de combustión interna.

**Gasificadores de lecho fluidizado.** En estos reactores no existen zonas más o menos definidas donde se lleven a cabo las distintas etapas, sino que el secado, la reducción (o gasificación), la oxidación y la pirólisis tienen lugar simultáneamente en todos los puntos del reactor. Cuando la partícula entra en el reactor, sufre consecutiva y

simultáneamente todos estos procesos inmediatamente tras su entrada y, por tanto, coexisten los productos de la pirólisis, oxidación y reducción en el reactor. Esto provoca que tanto la temperatura como el grado de conversión sean homogéneos en todo el reactor. Se obtiene un gas con bajos/ medios contenidos de tras y grandes cantidades de partículas y cenizas, a una temperatura entre 800 y 1,000°C.

El lecho fluidizado, al contrario que los gasificadores de lecho móvil, presenta una elevada velocidad de transferencia de calor y materia, y una buena mezcla de la fase sólida. Estas características son las que conducen a elevadas velocidades de reacción y a una temperatura uniforme en todos los puntos del lecho.

Otra ventaja de este tipo de gasificador es la facilidad que presenta para absorber las variaciones en cuanto a caudal y composición de la biomasa procesada. Normalmente existe un sólido colaborador presente en el lecho para mejorar las características fluidodinámicas y la transferencia de calor. Su elevado contenido en el lecho (alcanzándose valores de hasta un 98% frente a un 2% de biomasa, en peso) amortigua las variaciones que se puedan producir en las características de la biomasa.

Este tipo de reactor, cuando emplea aire como agente gasificante, produce un gas con un contenido en alquitranes intermedio entre los valores que se obtienen en los gasificadores updraft y downdraft. Las partículas de cenizas de char sin reaccionar son arrastradas por la corriente gaseosa fuera del reactor, siendo separadas en la mayoría de los casos mediante ciclones. En este caso, las emisiones de partículas son mayores que en el caso de los lechos móviles. Los reactores de lecho fluidizado pueden ser de lecho burbujeante o circulante, como se ha comentado anteriormente. (Bridgwater. 1989)

**El lecho fluidizado burbujeante (LFB)** permite emplear elevadas capacidades de procesamiento, presenta simplicidad en cuanto a operación y control, los costes de inversión no son muy elevados y su escalado es relativamente sencillo y fiable. Únicamente la distribución del combustible en grandes lechos resulta problemática.

En el gasificador de lecho fluidizado circulante (LFC) la velocidad de fluidización es lo suficientemente alta como para arrastrar grandes cantidades de sólidos con el gas producto. La fluidización es rápida, sin burbujas, por lo que se mejora la transmisión de calor y la transferencia de materia y, por tanto, la velocidad del proceso de gasificación. Este sistema fue desarrollado de forma que el material del lecho circule entre el gasificador y un separador ciclónico, donde parte del sólido es eliminado, siendo el resto (sin convertir totalmente) recirculado. En este tipo de reactor se trabaja con tamaños de partículas menores, lo que da lugar a un aumento de la superficie de contacto y a una disminución de la conversión de carbono más elevada que en un gasificador de lecho fluidizado burbujeante. Los inconvenientes respecto al LFB son una mayor necesidad de pre tratamiento para adquirir menor tamaño de partícula y unas mayores pérdidas de carga lo que implica mayor consumo eléctrico. (Bridgwater. 1989)

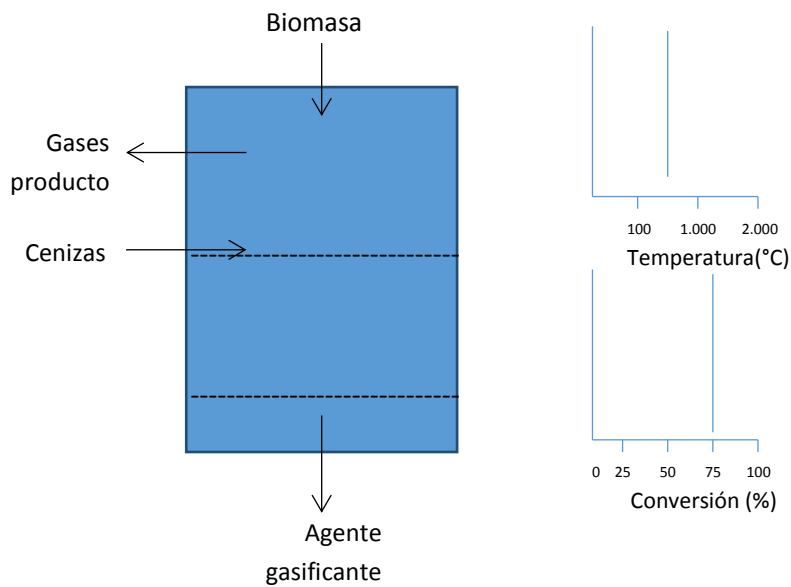


Figura 2.9 Flujo de materia y perfiles de temperatura y conversión en un reactor de lecho fluidizado (Bridgwater. 1989)

**Gasificadores de lecho arrastrado.** Es un gasificador de lecho arrastrado no se emplea ningún material inerte como coadyuvante, por lo que la alimentación debe ser finamente dividida. Las temperaturas de operación suelen ser mayores de 1,200°C dependiendo de si se usa aire u oxígeno. Las presiones de operación superan los 20 bares. El gas generado contiene un bajo nivel de alquitranes y de materia condensable siendo la conversión de carbono cercano al 100%. Sin embargo la alta temperatura de operación supone un problema en cuanto a la selección de materiales y a la posible fusión de las cenizas. En la actualidad esta tecnología se encuentra muy desarrollada para el caso del carbón no así para la biomasa ya que se requiere un tamaño de partícula muy fino (del orden de 125-600  $\mu\text{m}$ ) lo que supone unos elevados costes de proceso. (Bridgwater. 1989)

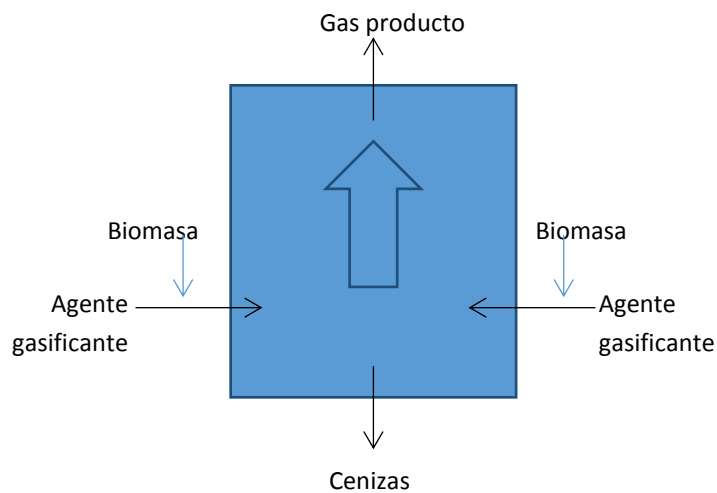


Figura 2.10 Flujo de materia en un reactor de lecho arrastrado (Bridgwater. 1989)

### 2.3 La gasificación como vía de conversión de la biomasa

La biomasa está ampliamente considerada como el combustible de mayor potencial como fuente de energía del futuro. Como recurso energético, podría representar el 50% de la demanda energética total en Europa, utilizando para cultivos de biomasa específico el terreno innecesario para alimentos, y considerando también otros desechos y residuos de la agricultura, comercio y consumidores. De hecho, esta cifra se podría ampliar de forma importante si se incluyeran los denominados cultivos energéticos.

Los procesos más habituales de transformación de la biomasa para una posterior utilización del combustible en la generación de electricidad o cogeneración termoeléctrica son la combustión, la gasificación y la pirólisis. De los tres procesos descritos para la valoración energética de la biomasa, la gasificación es el que comporta, en teoría mayores ventajas:

1. En primer lugar, el volumen de gases producidos en la gasificación es mucho menor y la concentración de contaminantes menor, con lo cual los sistemas de depuración son más pequeños y actúan de forma más eficiente.
2. En segundo lugar, con la gasificación se obtiene un combustible que puede ser empleado en una amplia variedad de aplicaciones con equipos convencionales diseñados para gases combustibles debidamente adaptados, de manera que es posible transportarlo a una cierta distancia del lugar de generación.
3. En tercer lugar, si el objetivo es producir electricidad y vapor, el rendimiento termodinámico global utilizando un gas sintético, que se expanda en motores térmicos tras una combustión y aproveche la energía sobrante en los gases calientes para producir vapor, es muy superior en la gasificación que en la combustión.
4. Finalmente, la gasificación está mucho más desarrollada que la pirólisis a escala de operación industrial, y tanto el diseño de los equipos como la operatividad es más sencilla para el caso de la gasificación.

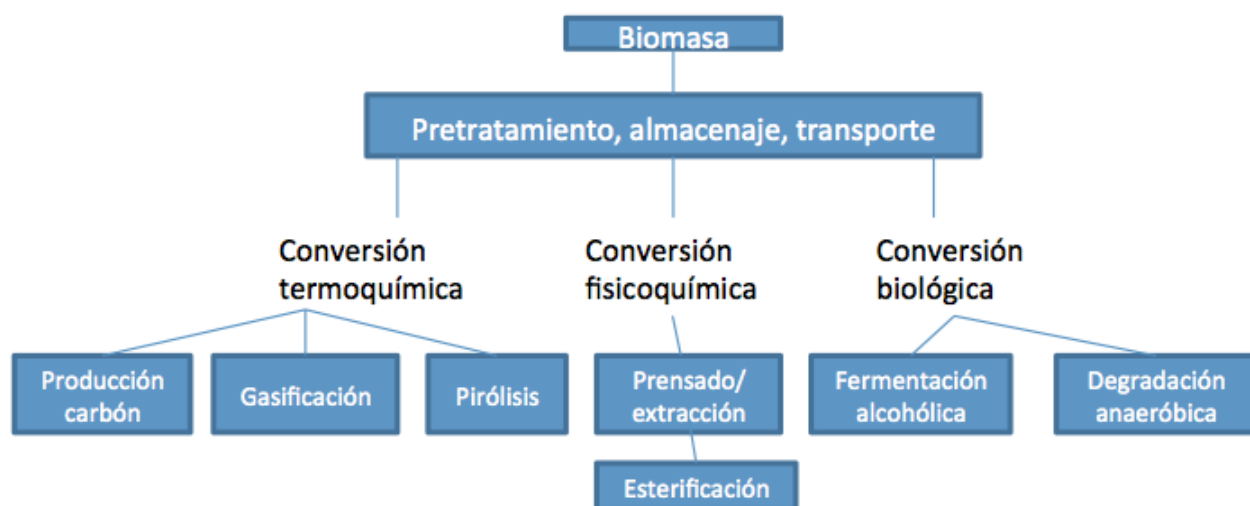


FIGURA 2.11 ESQUEMA DEL TRATAMIENTO Y VALORACIÓN DE LA BIOMASA (QUINTERO. 2012)

Uno de los mayores problemas de la biomasa como cultivo energético es el coste asociado de mano de obra, recolección y transporte, dado la dispersión en grandes áreas de cultivo. Por ello debe recurrirse a formas más

eficientes de conversión energética. No obstante, algunas de las ventajas pueden quedar anuladas por el coste excesivo del pre tratamiento preciso para la recogida y puesta en planta de determinado tipo de combustible residual.

#### 2.4 Futuro de los gasificadores en México y en el mundo

La gasificación es una vieja tecnología con grandes perspectivas de futuro. Efectivamente, la gasificación de carbón, sólidos carbonos y materiales líquidos se ha estado utilizando desde hace más de doscientos años y fue extensivamente utilizada para la producción de gas de ciudad desde finales del siglo XIX y durante el siglo XX. Aunque estas aplicaciones prácticamente han desaparecido, han ido apareciendo otras nuevas, de forma que la gasificación sigue jugando un papel importante como tecnología comercial. Desde sus orígenes, se han introducido sustanciales mejoras, convirtiéndola en una tecnología económicamente más competitiva, térmicamente más eficiente y más respetuosa con el medio ambiente.

Los principales gasificadores de carbón fueron construidos en Alemania por Bischof, 1839, y por Siemens, 1861. Los gasificadores de Siemens se utilizaban principalmente para proporcionar combustible a hornos para la industria metalúrgica y siderúrgica pesada. El desarrollo de equipos para la limpieza y enfriamiento de gas por Dawson en Inglaterra, 1881, extendió el uso de gasificadores a hornos pequeños y motores de combustión interna. A principios del siglo XX, la tecnología de los gasificadores había avanzado hasta el punto de que podían gasificarse cualquier tipo de residuos lignocelulósicos, como pepitas de aceitunas, paja y cáscaras de nueces. Estos primeros gasificadores se utilizaron principalmente para proporcionar combustible a motores de combustión interna fijos para la molienda y otros usos agrícolas. También a principios de siglo XX se desarrollaron los gasificadores portátiles. Se usaban en barcos, automóviles, camiones y tractores.

El verdadero impulso para el desarrollo de la tecnología de los gasificadores fue la escasez de gasolina durante la Segunda Guerra Mundial. Durante los años del conflicto, Francia tenía más de 60.000 coches alimentados por carbón vegetal y Suecia tenía cerca de 75.000 autobuses, coches, camiones y barcos equipados con gasificadores que gasificaban madera. Después de la Segunda Guerra Mundial, la abundancia de gasolina y gasóleo relativamente baratos, condenó al olvido a la tecnología de los gasificadores para su uso en automoción.

La utilización de la gasificación para producción de gas ciudad o para la automoción prácticamente ha desaparecido en la medida que otras fuentes de energía, como el petróleo o el gas natural, han satisfecho esta demanda de forma más ventajosa y económica. No obstante, las nuevas aplicaciones que han ido apareciendo en los sectores industriales han forzado a los suministradores a obtener nuevos desarrollos tecnológicos para seguir siendo competitivos. Estos desarrollos han mantenido la gasificación como un proceso industrial importante durante muchos años. La aparición de regulaciones medioambientales cada vez más restrictivas, junto con las presiones y oportunidades para el uso eficiente de fuentes energéticas de bajo coste está promoviendo en la actualidad la investigación y el desarrollo de soluciones tecnológicas apropiadas. Estos avances tecnológicos son los que impulsaran el proceso de la gasificación hacia más altas cotas de aplicación durante el siglo XXI.

Durante muchos años, gobiernos e industrias han estado trabajando en el concepto de integración limpia y eficiente de la gasificación de carbón con turbinas de gas y vapor para crear plantas de GASIFICACIÓN Integrada

con Ciclo COMBINADO (GICC O IGCC en la nomenclatura anglosajona). Se han construido plantas de demostración en EE UU, Países Bajos y España(Puertollano). Los avances conseguidos han hecho que la GICC pueda convertirse, una vez superados los inconvenientes del elevado coste de inversión y de las incertezas propias de un nuevo proceso, en la tecnología más apropiada para las futuras centrales eléctricas de carbón en la segunda década del siglo XXI.

Aunque la atención de muchos se ha focalizado en las mencionadas aplicaciones avanzadas para la generación de potencia, no hay que olvidar que mientras se han ido desarrollando muchas aplicaciones industriales centradas en la flexibilidad de utilización de las materias primas y de los productos obtenidos. A finales del siglo XX, la gasificación de había desplegado ampliamente por todo el mundo. En 1999 existían 128 plantas, con 366 gasificadores en operación. La mayoría de estas instalaciones se encontraban en Europa Occidental, el Pacífico Oriental, África y Norteamérica. Combinadas estas plantas generaban 42, 000 MW de gas de síntesis. En el periodo 1999-2003, estaba previsto construir 33 plantas adicionales con 48 gasificadores, añadiendo otros 18,000 MW de capacidad de producción de gas de síntesis. La mayoría de estas plantas corresponden a países asiáticos con necesidades de ampliar su producción eléctrica debido a su desarrollo económico. La segunda área en importancia de crecimiento corresponde a Europa Occidental, seguida de Norteamérica, donde las refinerías de crudo necesitarán utilizar plenamente sus fuentes de alimentación disponibles mientras reducen su producción.

Actualmente, la principal materia prima usada en las plantas de gasificación son el carbón y los residuos de petróleo, a los que corresponde más del 70 % del gas de síntesis producido, seguido por el gas natural con un 20%, aproximadamente, de la capacidad actual. En este último caso se utiliza exclusivamente como materia prima para la obtención de productos químicos. En los próximos años el crecimiento esperado corresponderá al uso de carbones de bajo rango, residuos de petróleo y otros tipos de residuos.

En la situación actual del mercado de generación de potencia, la gasificación no puede competir con el ciclo combinado alimentado con gas natural debido a los altos costes de inversión y al bajo precio del gas natural. Los bajos costes de los combustibles de ser gasificados, comparados con el del gas natural no son suficientes, en la mayoría de los escenarios para conseguir el retorno de la inversión en capital de la planta de gasificación. Se puede conseguir un retorno aceptable, solo cuando el coste de la materia prima es muy bajo, el coste local del gas natural alto, se obtiene subproductos de alto valor añadido o la tecnología se integra con instalaciones existentes. (Bridgwater. 1989)

## 2.5 Barreras de la implementación en la gasificación

Los problemas asociados a la limpieza del gas y al suministro del combustible, que no eran vitales en periodos de grave crisis, no están definitivamente resueltos, lo que ha limitado el pleno desarrollo de las tecnologías de gasificación hasta el momento. En los últimos años, la tecnología de gasificación de biomasa ha sido demostrada satisfactoriamente a través de plantas tanto de pequeña como de gran potencia. Sin embargo, todavía no puede competir económicamente, en la mayoría de los casos, con los procesos convencionales de producción de energía basados en combustibles fósiles.

Se puede considerar que la tecnología de gasificación de biomasa se encuentra, fundamentalmente, en el paso entre la fase de demostración y la de comercialización, esto se debe a problemas de tipo técnico y económico.

## 2.6 Aplicaciones a escala y costos de la gasificación.



En la gasificación se somete la biomasa a altas temperaturas, con cantidades limitadas de O<sub>2</sub>. El resultado es un gas con alto contenido calorífico, llamado gas de síntesis, la eficiencia del proceso varía entre 20 y 32 % (porcentaje de la energía que originalmente estaba contenida en la biomasa y que después del proceso está contenida en el gas).

Comúnmente en los sistemas de gasificación a pequeña escala (<300kW) el gasificador se acopla a motogeneradores eléctricos, motobombas, compresores; mientras que a mediana escala (300-4,000 kW), se hace viable la cogeneración de electricidad y calor. Para emplear el gas de síntesis en vehículos se requiere su conversión a combustibles como el metanol, diésel.

Una aplicación a gran escala es la gasificación integrada a ciclo combinado (IBGCC). Esta tecnología consiste en limpiar el gas que sale del gasificador y quemarlo en una turbina de gas, donde se produce electricidad. El calor de los gases de escape se recupera en una caldera (HRSG), donde se genera vapor que se usa en una turbina para la generación de electricidad. Una parte del gas de escape de la turbina se deriva a la unidad de separación de aire (ASU), para ser inyectado nuevamente al gasificador.

Tecnología	Materia prima	Costo de producción (USDcts/kWh)
Gasificación, pequeña y mediana escala	Residuos sólidos municipales	3.3-9.4
Gasificación, pequeña escala	Madera/residuos agrícolas	10.0-14.0
Gasificación, pequeña y mediana escala	Pellets de madera	5.0-13.0

Tabla 2.5 Costos de producción de la gasificación (Bridgwater. 1989)

El sistema de gasificación para generar energía tiene ventajas ambientales como la mitigación de GEI, principalmente cuando la biomasa utilizada está conformada por residuos. De igual forma, los sistemas de gasificación pueden reducir las emisiones de azufre, ya que es posible retirarlo antes del proceso de combustión.

## Capítulo 3 Plan de negocios para la biomasa

### 3.1 Análisis de Mercado

La economía mundial depende en gran medida de la energía derivada de los combustibles fósiles, principalmente petróleo, carbón y, en medida creciente, gas natural. Los recursos de combustibles fósiles son finitos, pero todavía están lejos de agotarse. Se calcula que se han consumido hasta la fecha 970,000 millones de barriles de petróleo y que quedan por extraer alrededor de 1.4 billones de barriles, lo que al ritmo de producción actual ocurrirá en menos de 30 años. Un importante problema adicional es el de la capacidad de producción de petróleo, que probablemente alcanzará su punto máximo en los próximos 5 a 15 años antes de empezar a disminuir.

Aunque en la combinación de combustible que utilizan los países desarrollados el petróleo sigue ocupando una posición predominante, el consumo de petróleo ha disminuido en todos los sectores, excepto en el del transporte, desde 1973. La disminución del consumo de petróleo ha sido especialmente pronunciada en las manufacturas y en la producción de electricidad, como resultado a la vez del cambio de fuentes de energía y de la disminución de la utilización de energía por unidad de producto. La disminución de la demanda de petróleo en los demás sectores fue suficiente para contrarrestar el crecimiento de la demanda de petróleo para el transporte, por lo que en 2001 la demanda del petróleo en la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) se situaba a niveles comparables a los de 1973. A escala mundial, sin embargo, la demanda de petróleo aumentó de 56 millones de barriles diarios en 1973 a 80 millones de barriles en 2004, debido al aumento del consumo en los países no pertenecientes a la OCDE.

Los combustibles fósiles han proporcionado al mundo medios de transporte, iluminación, calefacción, cocina, manufacturas e información. Han contribuido en medida importantísima al desarrollo general, al crecimiento económico, al empleo y a las comunicaciones. También han tenido, sin embargo, costos ambientales elevados. Según algunas estimaciones, los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera superan actualmente en un 30% los niveles más elevados registrados durante los últimos 400.000 años, con consecuencias negativas demostrables sobre el clima y costos sociales y económicos conexos.

Si no se modifican las actuales políticas gubernamentales, se prevé que las emisiones de dióxido de carbono relacionadas con el consumo de energía aumentarán en un 1,6% anual de 2003 a 2030, año en el que alcanzarán la cifra de 37,000 millones de toneladas, frente a los 24,000 millones de toneladas de 2005. Por consiguiente, independientemente de la situación de la oferta y de la demanda, la utilización continuada de combustibles fósiles es una fuente de concentraciones de carbono en la atmósfera, y lo será en medida creciente en el futuro. Esa tendencia es insostenible desde un punto de vista ambiental y económico.

Existe un consenso general en que el desafío energético de nuestro siglo proporcionará la energía barata necesaria para lograr, ampliar y mantener condiciones de prosperidad para todos evitando al mismo tiempo perturbaciones intolerables para el medio ambiente es inabordable si no se intensifica enormemente a escala mundial la innovación en el sector energético. Aunque no sería realista pensar que las nuevas fuentes de energía pueden resolver todos los problemas energéticos que enfrentan actualmente los países, los desarrollos de esas fuentes de energía pueden contribuir a aliviar los problemas relacionados con el cambio climático y a reducir la dependencia de los combustibles fósiles en los países importadores de energía. Por consiguiente, la exploración de las posibilidades que ofrecen las fuentes de energía alternativas se justificaría por consideraciones económicas, ambientales, estratégicas y políticas. Se entiende por biocombustible cualquier derivado de la biomasa. Las plantas más adecuadas para la producción de energía suelen ser las que crecen con rapidez y producen materiales leñosos de fácil combustión, como la soya, la palma, el girasol, la colza y el ricino o las que por tener un elevado contenido de azúcar se presentan a la fermentación.

El bioetanol, un alcohol producido por la fermentación biológica de los hidratos de carbono de materia vegetal pueden utilizarse directamente en automóviles diseñados para funcionar con etanol puro (etanol hidratado, que suele tener alrededor de un 5 % de contenido en agua) o mezclado con gasolina (hasta un 25 %) para producir “gasohol”, también llamado “carburol”. Para la mezcla con gasolina debe utilizarse etanol deshidratado (anhidro). En general, para utilizar esa mezcla no es necesario modificar el motor. El etanol puede añadirse a la gasolina sin plomo para incrementar los octanos y reducir la contaminación, en sustitución de aditivos químicos como el éter metil tert-butílico MTBE. En la actualidad el Brasil es el único país que utiliza biocombustibles, el etanol se mezcla con gasolina en su uso más antiguo y tradicionales el de elaboración de bebidas alcohólicas.

El biodiesel es un combustible sintético similar al diésel, que se produce a partir de aceites vegetales, grasas animales o grasa de cocina reciclada. Puede utilizarse directamente como combustibles, lo que requiere introducir algunas modificaciones, o con ligeras modificaciones del motor. El biodiésel se obtiene mediante un proceso químico denominado transesterificación, del que se derivan dos productos, éster metílico (nombre químico del biodiésel) y glicerina, un valioso subproducto utilizado para fabricar jabones y otros productos.

Al aplicar el análisis del ciclo de vida a las emisiones producidas por la utilización de los diferentes combustibles utilizados en el transporte, debe incluirse las emisiones por combustión y por evaporación, así como el ciclo de vida completo del combustible. En el análisis del ciclo de vida completo de las emisiones se tienen en cuenta no sólo las emisiones directas de los vehículos (denominadas emisiones finales), sino también las relacionadas con todo el ciclo de los combustibles: extracción, producción, transporte, elaboración, transformación y distribución, es decir, las emisiones anteriores a la combustión.

Diversificar la oferta energética e incrementar el uso de energías renovables es conveniente para México por razones estratégicas, económicas y ambientales. Los biocombustibles pueden jugar un papel destacado en este esfuerzo, pero es importante que su producción y su uso se apeguen a estrictos criterios de sustentabilidad.(Coronado. 2006)

Usando bien los biocombustibles México puede contribuir a resolver los problemas globales y jugar un papel de liderazgo demostrado el uso responsable de sus recursos.

En este país, para que efectivamente el uso de biocombustibles sea benéfico para la sociedad y para el medio ambiente, es necesario garantizar que:

- Contribuya al bienestar económico regional y nacional
- No impacte indebidamente a la calidad del aire, el agua y el suelo
- Reduzca realmente la emisión neta de gases de efecto invernadero

De acuerdo a la Agencia Internacional de la Energía, los beneficios en cuanto a reducción de emisiones de gases de efecto invernadero son significativos sólo para el etanol a partir de la caña de azúcar y para los biocombustibles de origen lignocelulósico de segunda generación.

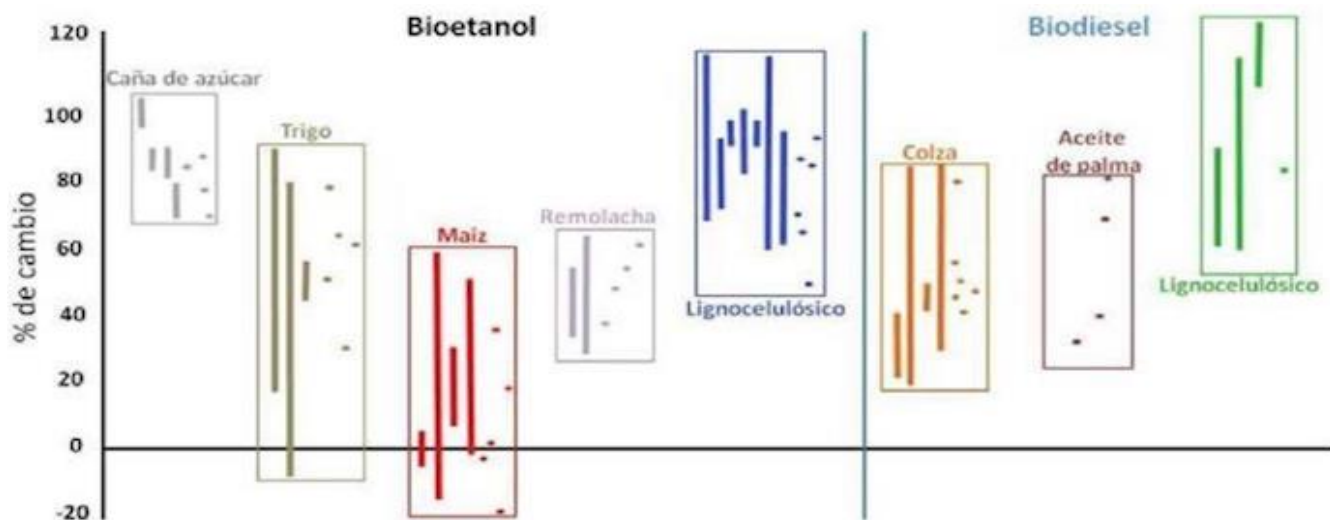


FIGURA 3.1 PORCENTAJE DE CAMBIO EN LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO PARA DIFERENTES BIOCOMBUSTIBLES EN COMPARACIÓN CON LOS COMBUSTIBLES FÓSILES (CORONADO. 2006)

Si no se hace una adecuada planificación del cultivo de materia prima para los biocombustibles de segunda generación se puede llegar afectar negativamente el potencial de mitigación de GEI, que actualmente está entre 60% y hasta 120% con respecto a los combustibles fósiles.

Estados Unidos es un ejemplo de los problemas que pueden generar los altos subsidios a los biocombustibles. De acuerdo a un informe del Global Subsidies Initiative (GSI), los subsidios en Estados Unidos han alcanzado niveles récord y son una forma costosa de lograr objetivos de política pública con impactos potenciales sobre el medio ambiente y la economía. Ellos recomiendan examinar los supuestos beneficios de los subsidios a los biocombustibles y compararlos con los costos para alcanzar los mismos objetivos por otros medios.

Existe un amplio consenso en diversos estudios científicos de que los biocombustibles también contribuyen al incremento de precios en los alimentos. Uno de estos meta-análisis concluye que los tres grandes factores que hicieron subir los precios de los alimentos en 2008 fueron: los cambios mundiales en la producción y consumo de productos básicos, la depreciación del dólar y el crecimiento en la producción de biocombustibles.

Otros estudios revisados por el Banco Mundial indican que la mayoría de los modelos predicen que el desarrollo futuro de los biocombustibles se traducirá en altos precios de los alimentos, disminución de las exportaciones de cereales de los Estados Unidos y la Unión Europea, disminución en los programas de apoyo a la agricultura, aumento de empleos rurales y un efecto ambiguo en el sector ganadero.

La generación de la materia prima para los biocombustibles puede afectar el balance de carbono de los bosques o pastizales. Un estudio realizado en el sureste de Asia estimó que transcurrirán entre 75 y 93 años para que las emisiones de carbono ahorradas por el uso de biocombustibles de palma de aceite, compensen el carbono perdido por la conversión de los bosques. La extracción de biomasa procedente de humedales y otros cuerpos de agua puede mejorar la calidad de los ecosistemas y su biodiversidad, pero la extracción de residuos forestales puede afectar negativamente el balance local de nutrientes y aumentar el riesgo de erosión. Combatir la deforestación puede ser una estrategia de mitigación de cambio climático más efectiva que la conversión de bosques para la producción de biocombustibles y puede ayudar a que las naciones cumplan con sus compromisos internacionales para reducir la pérdida de biodiversidad.

La fertilización nitrogenada en la producción de biocombustibles puede dar lugar a altas emisiones de óxido nítrico ( $N_2O$ , potente gas de efecto invernadero) agravando así el problema del calentamiento global. El cultivo más conveniente sobre la base de nitrógeno y uso de tierra es la caña de azúcar por el contrario a la soya y la colza los cuales son menos efectivos.

En el análisis de ciclo de vida de los biocombustibles, donde se toman en cuenta los impactos directos e indirectos por el cambio de uso de suelo, los beneficios ambientales pueden ser mínimos o incluso negativos. Cuando estos impactos no son tomados en cuenta las emisiones y el ahorro de energía para la caña de azúcar pueden ser entre 49-85% con respecto a los combustibles fósiles.

Para el uso de residuos (biocombustibles de 2da generación) los impactos son pequeños o positivos, pero pueden ocurrir impactos negativos si el retiro es excesivo afectando así la calidad del suelo y su biodiversidad.

El consumo de agua y el uso de agroquímicos en la producción de biocombustibles pueden afectar negativamente la disponibilidad y la calidad del agua. El consumo de agua para la producción de biocombustibles es alto y puede llegar a ser de 20, 000 litros de agua por litro de biocombustible.

La segunda generación de biocombustibles parece ofrecer mejores beneficios porque permite el uso de los residuos, cultivos no alimentarios, menos cantidad de tierra por unidad de etanol y el uso de tierras no aptas para la producción de cultivos alimentarios. En muchos aspectos el éxito de los biocombustibles está ligado al éxito de biotecnología.

Una política inteligente y responsable para promover los biocombustibles en México debe tomar en cuenta todos estos factores, así como aprovechar las experiencias y el conocimiento internacional, muy abundantes ahora, para encontrar el camino hacia el desarrollo energético sustentable.

Algunos de los sistemas de producción de biocombustibles que se han propuesto y adoptado en otros países, no cumplen con los criterios de sustentabilidad antes mencionados; y se han justificado en circunstancias económicas y energéticas muy diferentes a las que prevalecen en México. Por lo tanto, hay que ser cuidadosos y no adoptar sin más estrategias desarrolladas en contextos muy diferentes al nuestro, (desde la perspectiva de los biocombustibles, Brasil y Estados Unidos son muy diferentes a México).

Uno de los argumentos que más se usan para impulsar el uso de biocombustibles es su contribución a resolver el problema del calentamiento global resultante de la emisión de gases de efecto invernadero. Este aspecto ha sido motivo de muchos análisis y gran controversia, pero lo que está claro hoy en día, es que no cualquier biocombustible contribuye realmente a disminuir la cantidad de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Por ejemplo, los estudios integrales de ciclo de vida de los biocombustibles indican que el etanol producido a partir de maíz no contribuye a resolver el problema, y el obtenido a partir de la caña de azúcar sólo tiene un efecto positivo si se obtiene en forma muy eficiente y se aprovecha integralmente los subproductos.

Para asegurarse que los biocombustibles realmente contribuyan a resolver el calentamiento global, es necesario en cada caso hacer un análisis integral de ciclo de vida que cualifiquen todas las emisiones asociadas al uso de estos productos. Por esta razón, la normatividad que está en desarrollo en California y en Europa contempla regular la forma en que se producen los biocombustibles, a fin de garantizar que su impacto climático sea positivo. Con el mismo propósito se está desarrollando un sistema internacional de certificación para la producción sustentable de biocombustibles.

Por estas razones, hacer obligatorio el uso de combustibles de origen renovable sin regular la forma en que se producen implicaría costos económicos y ambientales y puede, por lo tanto, resultar contraproducente. En México cualquier legislación que se establezca para promover el uso de estos productos debe incluir mecanismos

de certificación y monitoreo que garanticen que realmente se alcancen los beneficios esperados. (Coronado. 2006)

### 3.1.1 Insumos

El desarrollo de la bioenergía se encuentra estrechamente relacionada con el tipo de biomasa o materia prima que puede ser usada o convertida en energía. Cada materia prima posee sus ventajas y desventajas de acuerdo con:

- La cantidad de material energético utilizable
- Las zonas en las cuales puede ser cultivado
- El nivel de insumo energético requerido
- La intensidad del uso de recursos naturales (tierra y agua)
- La competencia con la producción de cultivo para alimentos

Las fuentes de biomasa para la producción de bioenergía incluyen cultivos agrícolas convencionales como la caña de azúcar, remolacha azucarera, maíz, mandioca, trigo, cultivos oleaginosos como la soja, la colza, la jatropha y materias lignocelulósicas producidas a partir de cultivos herbáceos de corta rotación y de residuos agrícolas y leñosos.

- Fuentes vegetales que son cualquier componente de una planta (residuos agrícolas, residuos forestales, madera, cultivos tales como maíz, caña de azúcar, girasol, soja, trigo, huesos de aceituna, cáscaras de almendra, etc.).
- Fuentes animales que son cualquier parte o residuo animal (huesos, purines, sangre, cuernos, pezuñas, etc.).
- Fuentes industriales diversas consecuencia de la actividad de fábricas e industrias de todo tipo (agrícolas, alimentarias, forestales, etc.).

Por ejemplo, en la producción de zumos de frutas queda gran cantidad de residuos (cortezas, pulpa), en la extracción de aceite de semillas oleaginosas queda una torta muy rica de proteínas, en la destilación de alcoholes quedan como residuo las vinazas, etc. Actividad humana que provoca la aparición de basura o residuos sólidos y aguas residuales.

Las biomásas tales como la madera de los árboles, las hojas secas, el mosto de la uva, la caña de azúcar, etc., son renovables ya que su ciclo de producción es relativamente corto. Otra forma de clasificar la biomasa es la siguiente:

- Biomasa natural. La procedente de podas de árboles, limpieza de bosques, etc.
- Biomasa residual seca. Procedente de actividades agrícolas, forestales, industrias de la alimentación, de la madera, etc. Este tipo de industrias producen residuos sólidos tales como serrín, orujos virutas, paja, etc., con un contenido energético importante.
- Biomasa residual húmeda. Se caracteriza por ser líquida. Así, por ejemplo, tenemos los purines como resultado de la actividad ganadera y las aguas fecales como resultado de la actividad humana. Otro ejemplo son las vinazas que se producen al fabricar alcohol, o los alpechines (aguas de vegetación), residuo de la extracción del aceite de oliva.

- Cultivos energéticos. Se está cultivando maíz, girasol, caña de azúcar, etc., para usos no alimenticios. Por ejemplo, del girasol podemos sacar aceites energéticos que tienen muchas aplicaciones. Este tipo de aplicaciones energéticas se están desarrollando en la actualidad, por lo que todavía no se conocen a fondo sus ventajas e inconvenientes. Efectivamente pueden tener un impacto ambiental y un impacto económico-social.
- Cultivo de plantas productoras de combustibles líquidos. Ciertas plantas tales como las palmeras, jojobas, etc., son capaces de producir sustancias que puedan ser usadas como combustible instalaciones industriales.

La biomasa que se utiliza en los gasificadores en cuestión y con la cual experimenta, para saber cuál es más eficiente son 10 tipos de biomasa el estudio se centra solo en esta biomasa ya que es con la cual se tiene probados los equipos piloto. Se genera un estudio entre las biomásas con sus características principales (Nogués. 2010)

### 3.1.2 Consumidores

La Agencia Internacional de la Energía (AIE) Estadísticas de energía y balances de países no pertenecientes a la OCDE; Estadísticas de energía de países de la OCDE, y balances de energía de países de la OCDE, nos indica el consumo mundial el cual va en ascenso pero para ser más específicos y poder analizar el consumo de nuestro país se obtuvieron los datos del consumo de México en el año de 1971 el consumo per cápita en KWh fue de 501 mientras que en el año 2013 el consumo per cápita fue de 2,057 KWh (banco mundial ).

En México la generación eléctrica inició a finales del siglo XIX. En la actualidad aproximadamente el 60 por ciento del consumo interno de energía de nuestro país lo produce la Comisión Federal de Electricidad y casi un 20 por ciento los productores independientes. Sólo exportamos aproximadamente un 3 por ciento de nuestra electricidad. El mayor consumidor de energía nacional es la industria que gasta aproximadamente el 60 por ciento de toda la electricidad que se usa en el país, seguido por el sector residencial con un 26 por ciento. Estas cifras van en ascenso, se estima que para el año 2024 el consumo nacional de energía eléctrica se elevara más del doble de lo que usamos hace 5 años, debido al crecimiento de la población y la demanda del sector industrial. Desde el punto de vista energético, el consumo en países en desarrollo continuará creciendo, como resultado del proceso de maduración de su economía.

Es importante saber que en el sector residencial los mayores consumidores de energía son los aparatos que usamos todos los días de manera indiscriminada, como el aire acondicionado y calefactor, horno de microondas, aspiradora, plancha, refrigerador, lavadora y licuadora.

En 2014 el consumo final total de energía definido como la suma del consumo no energético total y el consumo energético total, mostró un incremento de 0.3 % respecto a 2013, totalizando 5,128.01 Petajoules). Este flujo representa la energía que se destina al mercado interno o a las actividades productivas de la economía nacional. En la tabla 3.1 se desglosa el consumo final total de energía para los años 2013-2014.( SENER, Estrategia Nacional de Energía. 2014)

	2013	2014	Variación porcentual (%) 2014/2013	Estructura porcentual (%) 2014
Consumo final total	5,110.71	5,128.01	0.34	100.00
Consumo no energético total	190.85	232.22	21.68	4.53
Petroquímica de Pemex	136.53	139.17	1.93	2.71
Otras ramas	54.32	93.05	71.31	1.81
Consumo energético total	4,919.86	4,895.79	-0.49	95.47
Transporte	2,261.27	2,246.39	-0.66	43.81
Industrial	1,590.42	1,568.44	-1.38	30.59
Resid, comer y púb	909.56	921.48	1.31	17.97
Agropecuario	158.62	159.48	0.55	3.11

**TABLA 3.1 CONSUMO FINAL TOTAL DE ENERGÍA (PETAJOULES) (SENER, ESTRATEGIA NACIONAL DE ENERGÍA. 2014)**

El consumo no energético total, que se refiere a aquellos productos energéticos y no energéticos derivados del petróleo que se utilizan como insumos para la producción de diferentes bienes, representó 4.5% del consumo final. Durante el año 2014 la energía destinada para este fin tuvo un aumento de 21.7%. Los productos no energéticos representaron 64.6% de dicho consumo en 2014, se incluye asfaltos, lubricantes, parafinas, azufre, negro de humo y otros, elaborado principalmente en las refinerías. El gas seco cubrió el 13.8% de la demanda, las gasolinas y naftas el 20.8%, el gas licuado del petróleo el 0.6% y el bagazo de caña el 0.1% restante.

Por su parte, el consumo energético total, se refiere a la energía destinada a la combustión en los procesos y actividades económicas y a satisfacer las necesidades energéticas de la sociedad. Este presentó 56.8% del consumo nacional y 95.5% del consumo final.

Del consumo energético total, las gasolinas fueron el tipo de energía de mayor consumo con el 29.8%. Estas mostraron una disminución en su demanda, asociada al consumo del sector transporte, de 1.1 % respecto al año anterior. La electricidad fue el segundo energético de mayor consumo con el 17.7%. por su parte, el diésel cubrió el 15.9% de los requerimientos energéticos finales, seguido del gas seco con 13.4%. (SENER, Estrategia Nacional de Energía. 2014)



	2013	2014	Variación porcentual (%) 2014/2013	Estructura porcentual (%) 2014/2013
Consumo final total	5,110.71	5,128.01	0.34	100
Consumo no energético total	190.85	232.22	21.68	4.53
Bagazo de caña	0.12	0.30	154.12	0.01
Gas licuado	1.08	1.45	34.36	0.03
Gas seco	26.08	32.15	23.29	0.63
Gasolinas y Naftas	42.15	48.28	14.55	0.94
Productos no energéticos	121.42	150.03	23.56	2.93
Consumo energético total	4,919.86	4,895.79	-0.49	95.47
Carbón	100.02	77.44	-22.58	1.51
Solar	7.24	8.06	11.45	0.16
Combustóleo	25.44	15.47	-39.19	0.30
Coque de carbón	65.13	68.89	5.78	1.34
Querosenos	127.69	136.17	6.64	2.66
Coque de petróleo	97.66	113.51	16.22	2.21
Biomasa	324.15	291.82	-9.97	5.69
Gas licuando	426.08	423.02	-0.72	8.25
Gas seco	638.95	657.09	2.84	12.81
Electricidad	846.51	868.52	2.60	16.94
Diésel	788.18	779.20	-1.14	15.19
Gasolinas y Naftas	1,472.81	1,456.60	-1.10	28.40

**TABLA 3.2 CONSUMO FINAL POR TIPO DE COMBUSTIBLE (PETAJOULES) ( SENER, ESTRATEGIA NACIONAL DE ENERGÍA. 2014)**

### 3.1.3 Competencia

El sector energético de una nación se refiere al sector de actividades primarias, secundarias y terciarias destinadas a la producción, transportación, innovación, manejo y venta de los productos energéticos del país. Los recursos energéticos de un país difieren según la abundancia y variedad de los recursos naturales del área. Entre los recursos energéticos más explotados se encuentran el petróleo, el gas natural, el carbón, etc. También existen diversos tipos de productos energéticos producidos de varias formas, como la electricidad. En 2014, la producción de energía primaria totalizó en 8,826.15, un 2.1% menor respecto a 2013, la producción de petróleo, principal energético primario, disminuyó 3.7% comparado con 2013. ( SENER, Estrategia Nacional de Energía. 2014)

### 3.2 Legislación

El marco legal del Programa se sustenta en el Plan Nacional de Desarrollo, el Programa Sectorial de Desarrollo Agropecuario y Pesquero de la SAGARPA y, la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos y su reglamento.

- El programa se enmarca dentro de la estrategia 15.14 del Plan Nacional de Desarrollo, “Sobre el fomento y el aprovechamiento de fuentes renovables de energía y biocombustibles”.
- El Programa de Producción Sustentable de Insumos para Bioenergéticos y de Desarrollo Científico y Tecnológico tiene su fundamento en el objetivo 3 del Programa Sectorial de Desarrollo Agropecuario y Pesquero de la SAGARPA, que establece “mejorar los ingresos de los productores incrementando nuestra presencia en los mercados globales, vinculándolos con los procesos de agregación de valor y la producción de Bioenergéticos”.
- La Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos, establece en el artículo 11 fracción IV “elaborar el Programa de Producción sustentable de insumos para Bioenergéticos y de Desarrollo Científico y Tecnológico”.
- Reglamento de la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos.

El Plan Nacional de Desarrollo y el Programa Sectorial de Desarrollo Agropecuario y Pesquero tienen objetivos claros, establecer en su política del sector rural el desarrollo humano y sustentable, mejorar los ingresos de los productores incrementado nuestra presencia en los mercados globales, vinculándolos con los procesos de agregación de valor y la producción de Insumos para Bioenergéticos.

En el mismo sentido, la ley de promoción y desarrollo de los bioenergéticos establece como objetivo promover y desarrollar los bioenergéticos con el fin de contribuir a la diversificación energética y el desarrollo sustentable como condiciones que permitan garantizar el apoyo al campo mexicano e instituye las bases que promuevan la producción de insumos para Bioenergéticos, con base en criterios de sustentabilidad y considerando un mayor impulso en zonas de alta y muy alta marginalidad, a partir de las actividades agropecuarias, forestales, algas

procesos biotecnológicos y enzimáticos del campo mexicano, sin poner en riesgo la seguridad alimentaria del país. Con esta visión se procura impulsar el desarrollo científico y tecnológico que permita ampliar las posibilidades productivas del sector, asegurando la transferencia de tecnología para otorgar un valor agregado a la producción agropecuaria y pesquera, brindar mayor certidumbre energética y mejorar la economía rural mexicana.

Para dar cumplimiento a la ley y sus objetivos, el gobierno federal, implementa el programa de producción sustentable de insumos para bioenergéticos y de desarrollo científico y tecnológico, que se articula con el programa de introducción de bioenergéticos en el marco de la estrategia intersecretarial de los bioenergéticos y con el consenso de los integrantes de la cadena; el cual tendrá como objetivo fomentar la producción sustentable de insumos para bioenergéticos y su comercialización, dando certidumbre, aumentando la competitividad y la rentabilidad del campo mexicano por medio del desarrollo científico y tecnológico. (SENER, Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional. 2015)

# Capítulo 4 Evaluación y análisis del proyecto de inversión

## 4.1 Datos generales del proyecto de inversión mediante evaluación tradicional

### 4.1.1 Activos, Pasivos, Costos, Flujo de Caja

Las especificaciones técnicas de los principales equipos y componentes del sistema de generación eléctrica en base a la gasificación de los residuos agrícolas de la producción de café para producir gas de síntesis y usarlo en una moto generadora eléctrico: definen las capacidades de los activos del proyecto. Posteriormente permitirán determinar los costos de adquisición de dichos equipos para integrar la inversión requerida para implementar el proyecto de transformación de energía de la biomasa a electricidad y poder obtener el Precio de venta de dicha electricidad en \$/kWh (peso por kilowatt hora). En la siguiente tabla se presenta el resumen de los principales parámetros de operación del sistema de gasificación.

El presente trabajo describe la instalación de un sistema de gasificación, con capacidad de 40 KW eléctricos, por medio de la utilización de biomasa, residuos agrícolas de la actividad cafetalera, para lograr parcial o totalmente la autosuficiencia energética de Coopedora R.L mediante la utilización de sus residuos, con el fin de aprovechar el potencial energético de la biomasa producida y con ello generar ingresos económicos y también reducir la contaminación del medio ambiente, al reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, que contribuyen al calentamiento global, porque el proyecto ofrece a los agricultores una tecnología más eficiente que la incineración de los residuos.

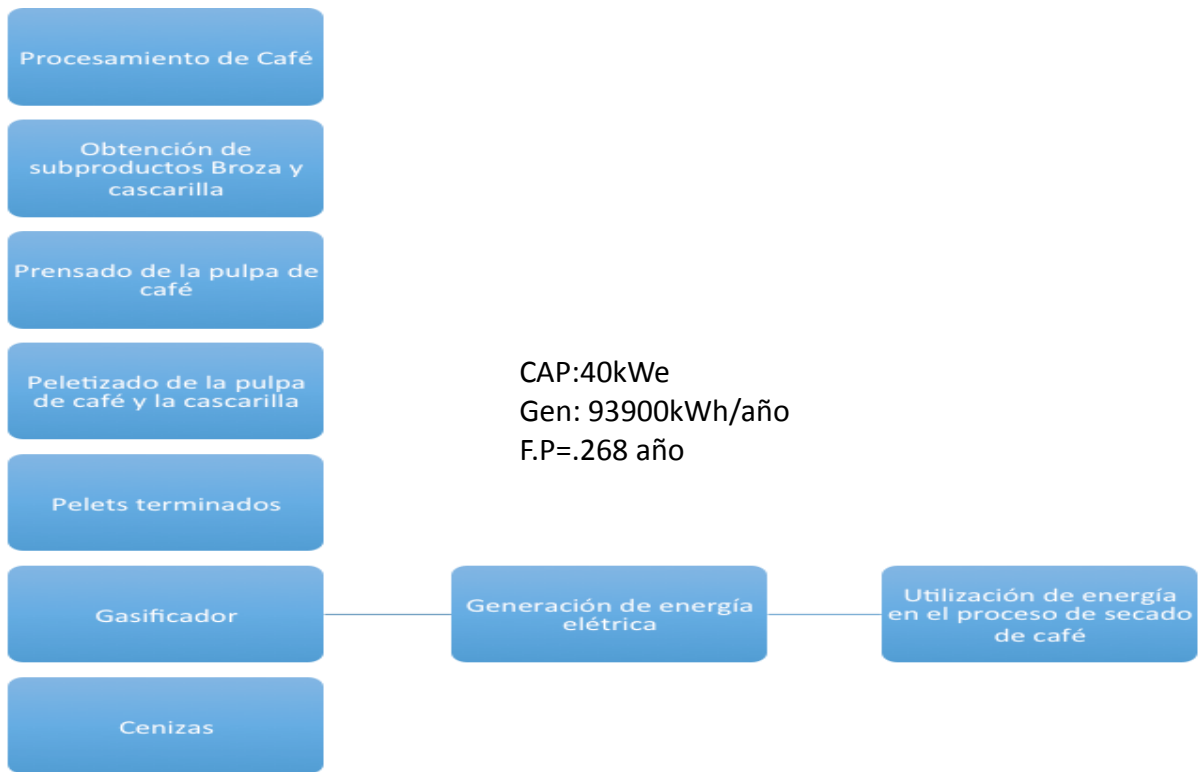
Modelo		COMBO-40
Capacidad térmica (estimada)		99,000 kcal/h.
Tipo de gasificador		Corriente descendiente
Temperatura de gasificación		1050-1100°C
Flujo de gas (calculado)		90 Nm <sup>3</sup> /h
Poder calórico promedio del gas		1,100 kcal/Nm <sup>3</sup>
Capacidad de almacenamiento		Aprox. 200 kg. de astillas de madera
Alimentación	Modo FBG	Continuo, tapa abierta
	Modo WBG	Lote alimentado, rellenando una vez cada hora
Remoción de carbón	Modo FBG	Automática, descarga del carbón húmedo del gasificador y manual desde el SS screen
	Modo WBG	Automática, descarga del carbón húmedo del gasificador y manual desde el SS screen

Subsistema de limpieza y enfriado		Depurador venturi, filtros bastos, filtros finos & filtro de seguridad
Encendido	Modo FBG	A través de la bomba del depurador y el ventilador
	Modo WBG	A través de la bomba del depurador y el ventilador
Contenido de humedad permisible en la biomasa		5 – 20 %
Tipo de combustible	Modo FBG	Biomasa finas, cascarilla
	Modo WBG	Biomasa leñosas que no excedan $\varnothing$ -25 – 40 mm; L-25 – 50 mm
Consumo horario valorado	Modo FBG	48 - 50 kg/h
	Modo WBG	34 – 36 kg/h
Descarga de cenizas	Modo FBG	28 – 32%
	Modo WBG	6 – 8%
Eficiencia de conversión usual		> 75%
Composición usual del gas		CO     - 19±3%     H <sub>2</sub> -18±2% CO <sub>2</sub> - 10±3%     CH <sub>4</sub> -Hasta3%     N <sub>2</sub> - 50%

**TABLA 4.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE GASIFICACIÓN (COOPEDOTA R.L. 2008)**

Como se presenta en la figura 4.1 , el sistema de gasificación se compone de lo siguiente:

- ❖ Prensado de la pulpa.     Sistema de paletizado.     Sistema de gasificación.     Sistema de generación.



**FIGURA 4.1 PASOS DEL SISTEMA DE GASIFICACIÓN QUE LO COMPONEN (COOPEDOTA R.L. 2008)**

El sistema de gasificación supliría 43.8 kW del proceso de secado de café, los cuales se describen en la tabla 4.2

Descripción	Requerimiento kW
HORNO 1	17.14
HORNO 2	14.24
TABLERO PRINCIPAL	26.50
TOTAL	57.88

**TABLA 4.2 REQUERIMIENTO ENERGÉTICO DEL TABLERO PRINCIPAL DE SECADO(COOPEDOTA R.L. 2008)**

Para analizar el autoconsumo del costo de sistema de gasificación y generador se describen en la tabla 4.3

Sistema de gasificación	
Rubro	Dólares
Generador	20,500.0
Gasificador	17,000.0
Total	37,500.0

**TABLA 4.3 COSTOS DE SISTEMA DE GASIFICACIÓN Y GENERADOR (COOPEDOTA R.L. 2008)**

Para calcular el precio de venta de la producción anual se multiplica la capacidad de instalación por las horas laborales y por el factor de planta del proyecto lo que nos da (kilowatt hora/año).

$$(40\text{kW}) (8760\text{h}) (\text{Factor de Planta}) = 93,900\text{kWh/año} \dots (\text{Ec. 16})$$

Despejando el Factor de Planta= $(93,900\text{kWh/año} / (40\text{kW})(8760\text{h}))=0.268\text{año...}$ (Ec. 17)

Donde:

Producción=93900kWh/año	Factor de Planta=0.268 año	Capacidad =40kW	Horas =8,760h
-------------------------	----------------------------	-----------------	---------------

- **Ingresos Anuales**

Al aprovechar la biomasa como materia prima, la producción de energía eléctrica, se están generando los siguientes ingresos por parte de este proceso, los cuales se describen en la tabla 4.4:

Años	Producción kW Anuales	Ingresos de venta en Dólares	Ingreso de venta en Pesos
1	93900	19,891.0	383,009.52
2	93900	20,686.7	398,331.05
3	93900	21,514.1	414,262.99
4	93900	22,374.7	430,834.20
5	93900	23,269.7	448,067.80
6	93900	24,200.5	465,990.74
7	93900	25,168.5	484,629.99
8	93900	26,175.2	504,014.41
9	93900	27,222.2	524,174.84
10	93900	28,311.1	545,142.06

**TABLA 4.4 INGRESOS ANUALES POR LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA, PROYECTADA A 10 AÑOS (COOPEDOTA R.L. 2008)**

Las utilidades que están en la tabla 4.5 son la cantidad en kW que se pueden ahorrar por medio de la producción de energía. Las utilidades no son efectivas sino más bien esa cantidad de dinero refleja el ahorro económico de producir 93,900 kWh y la energía térmica que se recupera para usarla en el proceso de secado de la biomasa, con el fin de hacer un proceso de autosuficiencia energética y que a su vez se disminuyan los costos de producción, y también para aprovechar la biomasa y reducir los impactos ambientales y la salud pública.

VENTAS	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Saldo en caja						
PRECIO DE VENTA DE ENERGÍA KW/HR		19,891.03	21,880.13	24,068.15	26,474.96	29,122.46
Ingresos por Capital de Trabajo		6,308.80				
Ingresos para inversión		127,172.12				
<b>TOTAL INGRESOS</b>		<b>153,371.95</b>	<b>21,880.13</b>	<b>24,068.15</b>	<b>26,474.96</b>	<b>29,122.46</b>
INVERSION INICIAL	133,480.92					
<b>EGRESOS</b>						
Costos de mano de obra		3,713.38	4,084.72	4,343.97	4,942.51	5,436.76
Imprevistos		1,908.40				
Costo de producción		687.02	755.73	831.30	914.43	1,005.87
<b>INVERSIONES</b>		<b>78,139.95</b>				
<b>TOTAL COSTOS</b>		<b>84,448.75</b>	<b>4,840.44</b>	<b>5,175.26</b>	<b>5,856.93</b>	<b>6,442.63</b>
<b>UTILIDAD BRUTA</b>	<b>-133,480.92</b>	<b>68,923.20</b>	<b>17,039.69</b>	<b>18,892.88</b>	<b>20,618.03</b>	<b>22,679.83</b>

TABLA 4.5 FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO DÓLARES (COOPEDOTA R.L. 2008)

VALOR ACTUAL NETO	14,672.7 1
TASA INTERNA DE RETORNO	4.54%
BENEFICIO COSTO	-0.89

TABLA 4.6 INDICADORES FINANCIEROS DEL PROYECTO(COOPEDOTA R.L. 2008)

#### 4.2 Análisis de la evaluación tradicional

Para lograr la evaluación financiera se siguieron las siguientes etapas:

Elaborar el flujo neto de caja durante el horizonte del proyecto. El cual ya se tiene y se puso anteriormente con este flujo de caja se calcula, el valor presente neto, el valor periódico uniforme equivalente, la tasa interna de retorno y la relación beneficio costo, con esto se planea determinar necesidades financieras del proyecto y elaborar un plan de financiamiento.

Se calculó la tasa costo de oportunidad (TCO), con los flujos de costo de producción, los cuales son el precio del proyecto al realizarlo y la inversión es la inversión inicial del proyecto, así tenemos:

$$TCO = (CO/I) * 100\% = (4194.35/133480.92) * 100\% = 3.14 \dots (\text{Ec. 18})$$

Donde:

- o TCO: Tasa costo de oportunidad. = 3.14
- o CO: Costo de oportunidad. = 4194.35
- o I: Inversión = 133480.92

Una vez determinada la TCO con la que se trabajará, puede calcularse el valor presente neto VPN, el cual consiste en la suma algebraica de los montos del flujo de caja descontados a valor presente:

$$VPN = VP \text{ Ingresos} - VP \text{ Egresos}$$

$$VPN = 68923.2 + 17039.69 + 18892.88 + 20618.03 + 22679.83 - 133480.92 \dots (\text{Ec. 19})$$



Los ingresos considerados se toman del flujo de caja, son la utilidad bruta y los egresos la inversión inicial, lo que nos da un  $VPN > 0$  esto nos dice que el proyecto es atractivo financieramente.

$$VPN = \$14,672.71$$

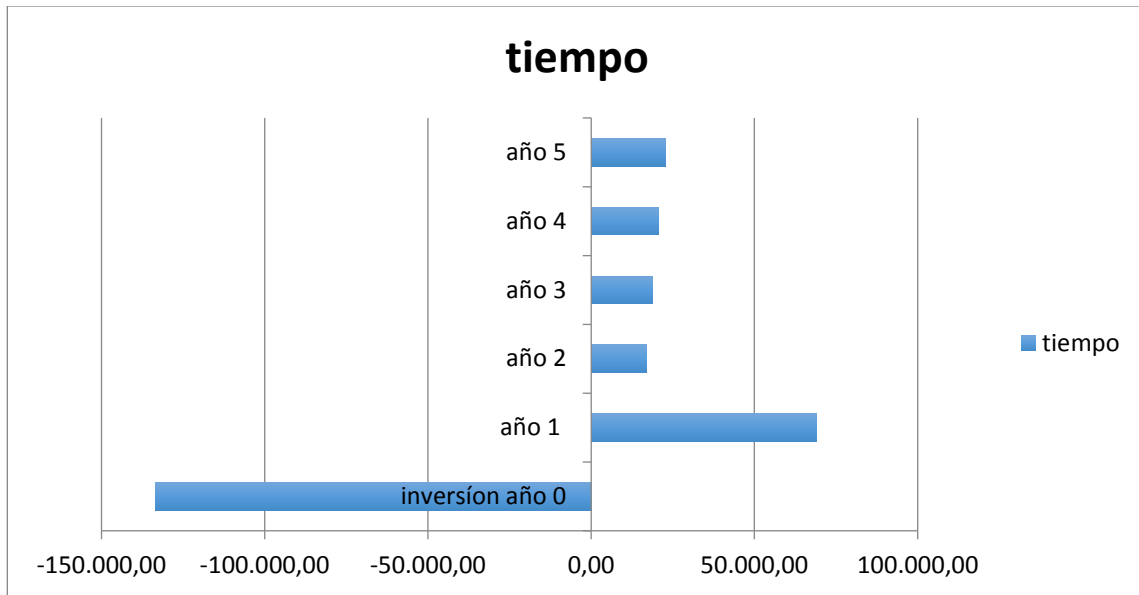
Para calcular el valor periódico uniforme equivalente neto se debe contar con los flujos de caja de cada período, de los cuales se ha conseguido el VPN, y con él VPN se halla el cálculo propiamente:

$$VPUE = VPN * (A/P; i\%; n) \dots (\text{Ec. 20})$$

VPN: Valor presente neto	A/P: Hallar A conociendo P	i %: Tasa de costo de oportunidad	VPUE: Valor periódico uniforme equivalente	n: Horizonte del proyecto
--------------------------	----------------------------	-----------------------------------	--	---------------------------

$$VPUE = -14,672.71 * (3.14; 5) = \$46072.30 \dots (\text{Ec. 21})$$

Para calcular la TIR se considera un flujo de caja convencional ya que solo tiene un cambio de signo. Esto nos dice que solo hay una posible solución, y el diagrama de flujo de la inversión y los ingresos anuales se presentan en la figura 4.2:



**FIGURA 4.2 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA INVERSIÓN Y LOS INGRESOS ANUALES (COOPEDOTA R.L. 2008)**

Dado que la expresión para el cálculo de la TIR representa un polinomio de grado n. No es fácil encontrar el valor de la expresión despejando la ecuación. Por esto se utilizó la función TIR de MExcel correspondiente.

Años	0	1	2	3	4	5
FNC	\$-133,480.92	\$68,923.20	\$17,039.69	\$18,892.88	\$20,618.03	\$22,679.83
TCO -	3%					
TIR -	4.54 %					

**TABLA 4.7 TIR ANUAL DEL PROYECTO**

El valor resultante es de 4.54%, el cual representa la rentabilidad del proyecto bajo los supuestos antes mencionados, la TIR es entendida como una tasa anual por cuanto los períodos del flujo neto de caja son años.

En este caso la TIR es de 4.54% siendo superior a la TCO (3.14%). Por lo tanto, el proyecto con este indicador se considera factible.

Con este indicador positivo se calcula la tasa verdadera de retorno (TVR) con el supuesto, que los ingresos propios del proyecto son reinvertidos directa y automáticamente a la misma tasa. La TVR supone que la tasa de rentabilidad del proyecto es diferente a la rentabilidad a la que se invierten los flujos de caja de cada período, pues estos recursos cuentan con otras opciones para ser reinvertidos. Con MS- Excel tenemos un TVR de 19.60% al ser superior a la tasa de descuento, el proyecto con este indicador se considera viable.

$$\text{TVR} = 19.60\%$$

La TVR es entendida como la tasa de rentabilidad del inversionista, a diferencia de la TIR, la cual es entendida como la rentabilidad del proyecto propiamente.

Finalmente se calculó la relación beneficio/ costo (B/C). Este indicador separa los ingresos y los egresos del proyecto y la relación existente entre ellos. En este caso se sumaron los ingresos y los egresos del proyecto para cada periodo:

$$\begin{aligned} \text{B/C} &= \text{VP (beneficio)} / \text{VP (costos)} \\ \text{B/C} &= 148,153.63 / 133,480.92 = 1.11 \dots (\text{Ec. 22}) \end{aligned}$$

$\text{B/C} > 1,0$  financieramente es factible (VP beneficios > VP costos).

$$\begin{aligned} \text{VP(Ingresos)} & 148,153.6 \\ )= & 3\$ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{VP(Egresos)} & 133,480.9 \\ = & 2\$ \end{aligned}$$

$$\text{B/C} = 1.11$$

#### 4.3 Análisis económico con opciones reales

Las técnicas de VAN y TIR presentados en el apartado 4.2 análisis de la evaluación tradicional omite un hecho fundamental que debe tenerse presente al momento de realizar una inversión: los proyectos son dinámicos, con esto queremos decir que las situaciones, las circunstancias o el ambiente en el cual se desarrolla un Proyecto van cambiando, y así una inversión rentable en un momento puede transformarse en deficitaria en otro.

Para dar cuenta de esta característica fundamental de toda inversión surgen técnicas alternativas que se encuentran directamente asociadas a la administración o gestión del proyecto. Por tanto, no se debe pensar únicamente si es conveniente o no invertir, también debemos preguntarnos si es más conveniente esperar un tiempo y realizar la inversión en otro momento. A su vez cuando el proyecto se encuentre en marcha se puede expandir si lo amerita el proyecto o bien recortarlo si los resultados no son los esperados. En el peor de los casos,

hay ocasiones en que un proyecto que esperamos que sea rentable resulta ser un fracaso con lo cual la mejor alternativa podría ser abandonarlo y liquidar los activos destinados al mismo.

La característica principal de las opciones reales, a diferencia del VAN es que permite valorar la flexibilidad de las inversiones y las decisiones gerenciales durante el desarrollo de la inversión. A lo largo de la vida de un proyecto de inversión, la empresa tiene la posibilidad de tomar decisiones para adecuarse a las distintas situaciones que se presentan y de esta manera aumentar las ganancias esperadas de la inversión o reducir posibles pérdidas. Básicamente la teoría de opciones reales es una herramienta para valorar estas oportunidades ampliando el análisis de los proyectos de inversión.

Este valor de la flexibilidad (que en algunos casos es más importante que el valor del proyecto en sí) es un valor agregado a los proyectos de inversión. La Teoría de Opciones Reales se utiliza para obtener este valor y de esta manera incrementar el valor que posee un proyecto de inversión. Para entender este concepto pensemos que una inversión tiene dos valores distintos: uno sin considerar las Opciones Reales y otro que incorpora el valor de las mismas.

Los elementos principales de las opciones reales son: el activo subyacente, el precio de ejercicio, los dividendos, el vencimiento, la desviación y la tasa de interés. El activo subyacente está dado por el proyecto en el que se está invirtiendo. La identificación del activo subyacente va a depender de que opción se esté analizando. Mientras que en una opción de diferir una inversión el activo subyacente es el valor actual de la inversión que se planea realizar, en el caso de una opción de abandono, es el valor de la inversión que se está realizando y se desea abandonar.

El precio de ejercicio es el costo asociado a la acción que se desee tomar. Nuevamente, va a depender del tipo de opción. En una opción de diferir el precio de ejercicio, es el valor actual del costo de la inversión que se planea realizar, mientras que, en una opción de abandonar, es el valor de venta de los activos comprometidos en la inversión.

En los modelos de valuación de opciones financieras, se considera la posibilidad de que el activo subyacente pague un dividendo periódico, lo cual modifica el valor de la opción. Algo similar sucede con las opciones reales, donde el valor de los dividendos está dado por los flujos de fondos que se pueden ganar o perder en cada período. En las opciones de diferir, muchas veces se puede considerar que al postergar la inversión se pierden los flujos de fondos de cada periodo en que no se invierte. Ese flujo de fondos se considera como el dividendo que se pierde por no ejercer una opción de compra sobre una acción que paga dividendos.

El vencimiento de las opciones está dado por el período durante el cual la empresa tiene la posibilidad de ejercer la opción, es decir, el período durante el cual tiene vigencia el derecho de tomar una decisión sobre la inversión. La desviación se mide, al igual que en las opciones financieras, por la varianza del activo subyacente, en este caso, el valor del proyecto. Por último, el modelo utiliza una tasa de interés que, al igual que en la valuación de opciones financieras, es la tasa de interés libre de riesgo.

En esta sección expondremos algunos principios que serán utilizados como métodos para estudiar distintas técnicas que te permita valorar opciones, las cuales, a su vez están basadas en ciertos modelos. Un modelo es una representación simplificada de la realidad y como tal, se basa en ciertos supuestos que recortan la realidad

para hacer más sencillo el estudio de ciertos fenómenos, haciendo foco en las características más relevantes y descartando aquellas que no impactan de manera decisiva en el fenómeno que se está analizando.

En general en cualquier fenómeno que se estudie existen infinitos factores que determinan su comportamiento, y el objetivo del modelo es considerar solamente aquellos factores más relevantes. Así, dentro de la esfera de las opciones financieras, lo que pretendemos modelar es el valor de la prima, la cual está dada por una infinidad de factores y en última instancia se definirá por el juego de la oferta y la demanda: el tomador ofrecerá una prima y si al comprador le parece adecuado se realizará el contrato, en caso contrario no habrá acuerdo. Sin embargo, hay ciertas variables que influirán de manera decisiva en el valor de la prima, y son éstas las que deberían ser contempladas por un buen modelo de valuación. (Bacchini, 2008)

Las principales variables que impactan de manera decisiva en el precio de una opción, y que deberán ser contempladas por un modelo son:

- o El tipo de opción
- o El Precio de ejercicio
- o La fecha de expiración
- o El precio del activo subyacente
- o La variabilidad en el precio del subyacente
- o Ciertas características del modo de negociación del activo subyacente
- o Ciertas características del modo de negociación de la opción
- o La tasa de interés libre de riesgo

Las tres primeras características, si bien son fundamentales, están estipuladas en el contrato en el caso de opciones financieras, por lo cual no es necesario suponer nada respecto de las mismas. En el caso de las opciones reales el precio de ejercicio será el costo de la inversión que se supone conocido, mientras que el tipo y la fecha de expiración dependerán del caso puntual analizado. Continuando con el cuarto factor el precio subyacente. En las opciones financieras, puede observarse el mismo en el mercado. En las opciones reales, será generalmente el VAN del proyecto o el valor actual de los flujos futuros, el cual ya hemos calculado.

Si bien el valor es conocido, su comportamiento futuro es incierto y está directamente relacionado con la variabilidad del mismo (el quinto factor), por lo cual deberán hacerse supuestos sobre esta variable. La volatilidad en el precio adyacente (el valor del proyecto, en el caso de las opciones reales) será el factor fundamental determinante del valor que posee una opción determinada.

Por otra parte, hay ciertas características respecto de la forma en que se negocian tanto el activo subyacente como la opción (sexto y séptimo factor) que impactarán de manera decisiva en el valor de esta última. Finalmente, a la tasa de interés a la cual se puede tomar dinero prestado o colocar depósitos sin riesgo (octavo factor) será fundamental para determinar el precio de una opción. Asimismo, es importante el comportamiento de esta tasa a lo largo del tiempo.

El valor de una opción de compra es igual al costo de la cartera que replica su comportamiento (en esta tesis no se desarrolla algebraicamente las metodologías de opciones reales solo se aplica):

$$C_0 = V_0 \dots (\text{Ec. 23})$$

$$= \theta \times S_0 + \phi \dots (\text{Ec. 24})$$

Aplicando estas ideas directamente a lo obtenido en el apartado 4.2 “Análisis de la evaluación tradicional” :

La fecha de expiración- 1 año -12/12	El precio del activo subyacente- VAN- 14672.71
La tasa de interés libre de riesgo- % 5	El precio del ejercicio, costo de la inversión- 133,480.92

Considerando una opción de compra con un vencimiento de un año y precio de ejercicio \$ 133,480.92, sobre un activo cuyo valor hoy es \$14,672.71 al cabo de un mes el precio del activo puede subir a \$16,139.98 (u=1,10) o bajar a \$10,270.89 (d=0,70). La tasa a la cual se puede colocar o tomar sin riesgo es del 5% anual.

Con estos datos, calculamos:

$$C_1^u = \max(16,139.98 - 133,480.92; 0) \dots (\text{Ec. 25}) \quad C_1^d = \max(10,270.89 - 133,480.92; 0) \dots (\text{Ec. 26})$$

$$= \$0 \quad = \$0$$

$$u-d = 0,40 \quad (1,05)^{\frac{1}{12}} = 1,004074$$

Remplazando estos valores en la fórmula de  $\theta$  y  $\phi$  expuestas aquí obtenemos:

$$\theta = \frac{C_1^u - C_1^d}{S_0 X (u-d)} \dots (\text{Ec. 27}) \quad \theta = \frac{0-0}{14,381.79 \times 0,40} = 0 \quad \phi = \frac{u.C_1^d - d.C_1^u}{(u-d)X(1+r)^t} \dots (\text{Ec. 28}) \quad \phi = \frac{1,10 \times 0 - 0,70 \times 0}{0,40 \times 1,004074} = 0$$

Donde:

$S_0$ : es el precio del subyacente en el momento cero	r: es la tasa anual sin riesgo a la cual se puede depositar o solicitar dinero
u :es el factor que indica el porcentaje de aumento en el precio.	t: es el tiempo en años que hay hasta el vencimiento de la opción de compra
$\theta$ : es la cantidad de subyacente que se compra en el momento cero	$\phi$ : es el momento que se deposita en el momento cero a la tasa r por el plazo t

Luego, el valor de la opción es :

$$C_0 = 0 \times 14,381.79 - 0 = 0 \dots (\text{Ec. 29})$$

En la figura 4.3 se ilustra la resolución que se encuentra en el CD. (del libro evaluación de inversiones con opciones reales utilizado Excel) con la cual también se calcula el valor de una opción de compra:

## Modelo Binomial: Un Paso

### Valuación de una Opción de Compra

DATOS (a Ingresar por el usuario)					
Tiempo al vencimiento (años)	Precios del Activo			Precio de Ejercicio	tasa de interés
	Inicial	factor alza	factor baja		
1/12	\$ 14,381.79	\$ 1.10	\$ 0.70	\$ 133,480.92	5%

RESULTADOS				
Precio del Subyacente			Cartera de Réplica	
Precio al momento 0	Escenarios al momento 1		Subyacente	Depósito
\$ 14,381.79		\$ 15,819.97	\$ 0.00	0.00
		\$ 10,067.25	Valor del Call	\$ 0.00

Figura 4.3 Cálculo del valor de una opción de compra (Bacchini, 2008)

### 4.3.1 Opciones de venta

Para el caso de las opciones de venta procederemos de la misma manera que con las opciones de compra. Construiremos una cartera compuesta por  $\varphi$  unidades del activo subyacente y un monto  $\eta$  depositado a la tasa libre de riesgo, de manera tal, que el valor de esta cartera coincida con el valor de la opción de venta en los dos escenarios posibles.

El valor de una opción de venta es igual al costo de la cartera que replica su comportamiento:

$$P_0 = V_0 \dots (\text{Ec. 30})$$

$$= \varphi \times S_0 + \eta \dots (\text{Ec. 31})$$

Note que las únicas diferencias con las fórmulas correspondientes a las opciones de compra están dadas por los posibles valores de la opción en el momento uno. Aplicando la siguiente metodología:

Analicemos una opción de venta con precio de ejercicio  $X = 133,480.92$  y vencimiento en 12 meses ( $T = 12/12$ ) el precio del activo subyacente es de  $S_0 = 14,672.71$  y en el momento uno (a los doce meses) el precio puede subir a  $S_0 \times u = \$18,531.63$  ( $u \cong 1,263$ ) ó bajar hasta  $S_0 \times d = \$12,109.46$  ( $d \cong 0,842$ ). Se deposita dinero a un interés del 5% anual por un plazo de 12 meses.

En base a esta información, podemos calcular:

$$P_1^u = \max(133,480.92 - 18,534.57; 0) \dots (\text{Ec. 32})$$

$$= \$114,946.35$$

$$P_1^d = \max(133,480.92 - 12,355.89; 0) \dots (\text{Ec. 33})$$

$$= \$121,125.03$$

$$u-d=0,42\dots(\text{Ec. 34})$$

$$(1,06)^{\frac{3}{12}}=1,014674\dots(\text{Ec. 35})$$

La cartera, entonces se compone de :

$$\varphi = \frac{P_1^u - P_1^d}{S_0 X (u-d)} \dots (\text{Ec. 36}) \quad \varphi = \frac{114,946.35 - 121,125.03}{14,672.71 \times 0,42} = -1.002$$

unidades de activo subyacente ( $\varphi < 0$  implica una venta en descubierto), y un depósito de :

$$\eta = \frac{u.P_1^d - d.P_1^u}{(u-d)x(1+r)^t} \dots (\text{Ec. 37})$$

$$\eta = \frac{1,26 \times 114,946.35 - 0,84 \times 121,125.03}{0,42 \times 1,014674} = 101,105.36$$

El valor de la cartera, o, lo que es lo mismo, el valor de la opción, es :

$$P_0 = -1.002 \times 14,672.71 + 101,105.36 = \$116,877.86\dots(\text{Ec. 38})$$

En la figura 4.4 se ilustra la resolución que se encuentra en el CD. (del libro evaluación de inversiones con opciones reales utilizado Excel) con la cual también se calcula el valor de una opción de venta:

Modelo Binomial: Un Paso					
Valuación de una Opción de Venta					
DATOS (a Ingresar por el usuario)					
Tiempo al vencimiento (años)	Precios del Activo			Precio de Ejercicio	tasa de interés
	Inicial	factor alza	factor baja		
1/4	\$ 14,672.71	1.26	0.84	\$ 133,480.92	6%

RESULTADOS			
Precio del Subyacente		Cartera de Réplica	
Precio al momento 0	Escenarios al momento 1	Subyacente	Depósito
\$ 14,672.71	\$ 18,534.57	-1.00	131550.57
	\$ 12,355.89	Valor del Put	\$ 116,877.86

Figura 4.4 Cálculo de valor de una opción de venta (Bacchini, 2008)

### 4.3.2 Valuación neutral a riesgo de opciones de compra

En el caso de las opciones de compra (Call) la fórmula es la siguiente:

$$C_0 = \frac{C_1^u x q + C_1^d x (1 - q)}{(1 + r)^T} \dots (\text{Ec. 39})$$

Considerando una opción de compra con precio de ejercicio  $X=133,480.92$  y vencimiento en 12 meses ( $T=12/12$ ). Se deposita dinero a un interés del 5% anual por un plazo de 12 meses. El precio del activo subyacente es de  $S_0=14,672.71$  y que los parametros del modelo son  $u = 1,15$  y  $d=0,85$ . Es decir que los posibles precios del subyacente al momento uno (a los doce meses) el precio puede subir a  $S_0 \times u = \$16,873.62$  ó bajar hasta  $S_0 \times d = \$12,471.80$ .

En base a esta información, la probabilidad de alza neutral a riesgo es:

$$q = \frac{(1+r)^T - d}{u - d} \dots (\text{Ec. 40}) \qquad q = \frac{(1,065)^{5/12} - 0,85}{1,15 - 0,85} = 0,58$$

Por otra parte, los posibles valores de la opción al momento uno son :

$$C_1^u = \max(16,873.62 - 133,480.92) \dots (\text{Ec. 41}) \qquad C_1^d = \max(12,471.80 - 133,480.92) \dots (\text{Ec. 42})$$

= \$0 \qquad \qquad \qquad = \$0

Finalmente, el valor de la opción de compra, de acuerdo con los supuestos asumidos, es:

$$C_0 = \frac{0 \times 0,58 + 0 \times 0,42}{(1,065)^{5/12}} = 0 \dots (\text{Ec. 43})$$

En la figura 4.5 se ilustra la resolución que se encuentra en el CD. (del libro evaluación de inversiones con opciones reales utilizado Excel) con la cual también se calcula el valor de una opción de compra:



# Modelo Binomial: Un Paso

## Valuación de una Opción de Compra

### DATOS (a Ingresar por el usuario)

Tiempo al vencimiento (años)	Precios del Activo			Precio de Ejercicio	tasa de interés
	Inicial	factor alza	factor baja		
5/12	\$ 14,672.71	1.15	0.85	\$ 133,480.92	6.50%

### RESULTADOS (Valuación Neutral)

Precio del Subyacente		Valor de la Opción	
momento 0	momento 1	momento 0	momento 1
	\$ 16,873.62		\$ 0.00
\$ 14,672.71		<b>Valor del Call</b>	
	\$ 12,471.80	\$ 0.00	\$ 0.00

### Probabilidades Neutrales

"q"	"1-q"
0.5886	0.4114

Figura 4.5 Valuación neutral a riesgo de una opción de compra (Bacchini, 2008)

### 4.3.3 Valuación neutral a riesgo de opciones de venta

La fórmula de valuación neutral a riesgo para el caso de las opciones de venta (Put) es:

$$p_0 = \frac{p_1^u x q + p_1^d x (1-q)}{(1+r)^T} \dots \text{(Ec. 44)}$$

Considerando una opción de venta con precio de ejercicio  $X = 133,480.92$  y vencimiento en 2 meses ( $T = 2/12$ ). A su vez asuma que se puede depositar o pedir prestado sin riesgo por el plazo de la opción (2MESES) a una tasa del 5 % anual.

Asimismo, suponga que el precio del subyacente hoy es de  $S_0 = 14,672.71$  y que los parámetros del modelo binomial son  $u = 1.12$  y  $d = 0.90$ . es decir que los posibles precios del subyacente luego de 2 meses al momento uno son  $S_0 \times u = \$16,433.44$   $S_0 \times d = \$13,205.44$ .

La probabilidad neutral a riesgo es :

$$q = \frac{(1+r)^T - d}{u - d} \dots \text{(Ec. 45)} \quad q = \frac{(1.05)^{\frac{1}{6}} - 0.90}{1.12 - 0.90} = 0.4917$$

Por otra parte, los posibles valores de la opción al momento uno, son:

$$P_1^u = \max(133,480.92 - 16,433.44; 0) \dots (\text{Ec. 46}) \quad P_1^d = \max(133,480.92 - 13,205.44; 0) \dots (\text{Ec. 47})$$

$$= \$117,047.48 \qquad \qquad \qquad = \$120,275.48$$

Finalmente, el valor de la venta en el momento cero, de acuerdo con los supuestos realizados, es :

$$P_0 = \frac{117,047.48 \times 0.4917 + 13,205.44(1 - 0.4917)}{(1.05)^{1/6}} = \$117,727.19 \dots (\text{Ec. 48})$$

En la figura 4.6 se ilustra la resolución que se encuentra en el CD. (del libro evaluación de inversiones con opciones reales utilizado Excel) con la cual también se calcula el valor de una opción de venta:

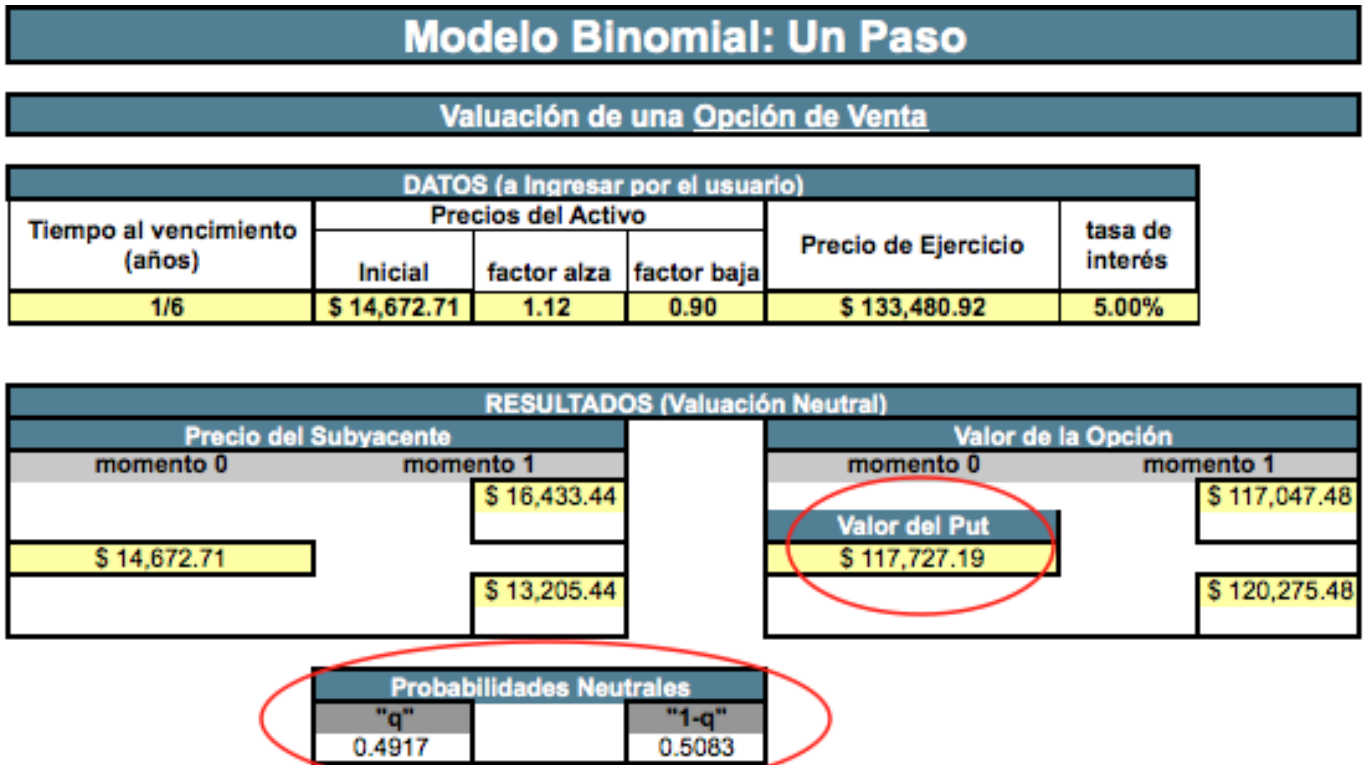


Figura 4.6 Valuación neutral a riesgo de una opción de venta (Bacchini, 2008)

4.3.4 Modelo binomial generalizado: "n" pasos

Al igual que en la sección anterior, empezaremos con el supuesto en el que se basa el modelo que se presentará, el cual está relacionado con la evolución del precio del subyacente.

### Supuestos del Modelo

En la sección anterior se supuso que el precio del activo subyacente podía tomar solamente dos valores en la fecha de expiración. Este supuesto es sumamente irreal y, más aún, cuando el plazo de la opción es relativamente largo.

Para generalizar el modelo presentado en la sección anterior, simplemente dividiremos el plazo hasta el vencimiento de la opción,  $T$ , en  $n$  períodos de igual longitud  $\Delta t = \frac{T}{n}$ . Lo que supondremos aquí es que en cada período tenemos un paso del modelo binomial, siendo los parámetros  $u$  y  $d$  constante en cada uno de ellos.

### Árbol binomial de 2 pasos

Considerando un activo cuyo valor de mercado hoy es \$14,672.71, y se asume que la evolución del precio en el próximo mes sigue un modelo binomial. Podemos dividir este plazo en dos períodos quincenales. En términos de lo expuesto hasta aquí, tenemos que:

$$T = \frac{1}{12}; \quad n = 2 \quad \Delta t = \frac{1/12}{2} = 1/24 \dots (\text{Ec. 49})$$

En cada período de quince días, se considera un paso del modelo binomial. Suponga que los parámetros son  $u=1,05$  y  $d=0,98$  (el precio puede subir un 5% o caer un 2%). Entonces, al cabo de la primera quincena, los posibles precios serán:

$$\begin{aligned} s_0 \times u &= 14,672.71 \times 1,05 \dots (\text{Ec. 50}) & s_0 \times d &= 14,672.71 \times 0,98 \dots (\text{Ec. 51}) \\ &= 15,406.34 & &= 14,379.25 \end{aligned}$$

Luego, para analizar los posibles valores en el momento dos (al cabo de un mes), debemos tener en cuenta los resultados del momento uno (en la primera quincena). Si el precio luego de la primera quincena ha subido a 140,154.966 entonces los posibles valores son:

$$\begin{aligned} (s_0 \times u) \times u &= 15,406.34 \times 1,05 \dots (\text{Ec. 52}) & (s_0 \times u) \times d &= 15,406.34 \times 0,98 \dots (\text{Ec. 53}) \\ &= 16,176.65 & &= 15,098.21 \end{aligned}$$

Por otra parte, si el precio final de la primera quincena es 130,811.302 entonces los valores al momento 2 son:

$$\begin{aligned} (s_0 \times d) \times u &= 14,379.25 \times 1,05 \dots (\text{Ec. 54}) & (s_0 \times d) \times d &= 14,379.25 \times 0,98 \dots (\text{Ec. 55}) \\ &= 15,098.21 & &= 14,091.66 \end{aligned}$$



Momento 1:  $s_0 \times u = 14,672.71 \times 1,05 \dots$  (Ec. 57)  
 $= 15,406.34$

$s_0 \times d = 14,672.71 \times 0,9524 \dots$  (Ec. 58)  
 $= 13,974.28$

Momento 2:  $(s_0 \times u) \times u = 15,406.34 \times 1,05 \dots$  (Ec. 59)  $(s_0 \times u) \times d = 15,406.34 \times 0,9524 \dots$  (Ec. 60)  
 $= 16,176.65$   $= 14,672.99$

$(s_0 \times d) \times u = 13,974.28 \times 1,05 \dots$  (Ec. 61)  $(s_0 \times d) \times d = 13,974.28 \times 0,98 \dots$  (Ec. 62)  
 $= 14,672.99$   $= 13,694.79$

Como puede observarse, si luego de dos períodos se produce un alza y una baja, se obtiene el mismo precio que al momento inicial. El árbol es:

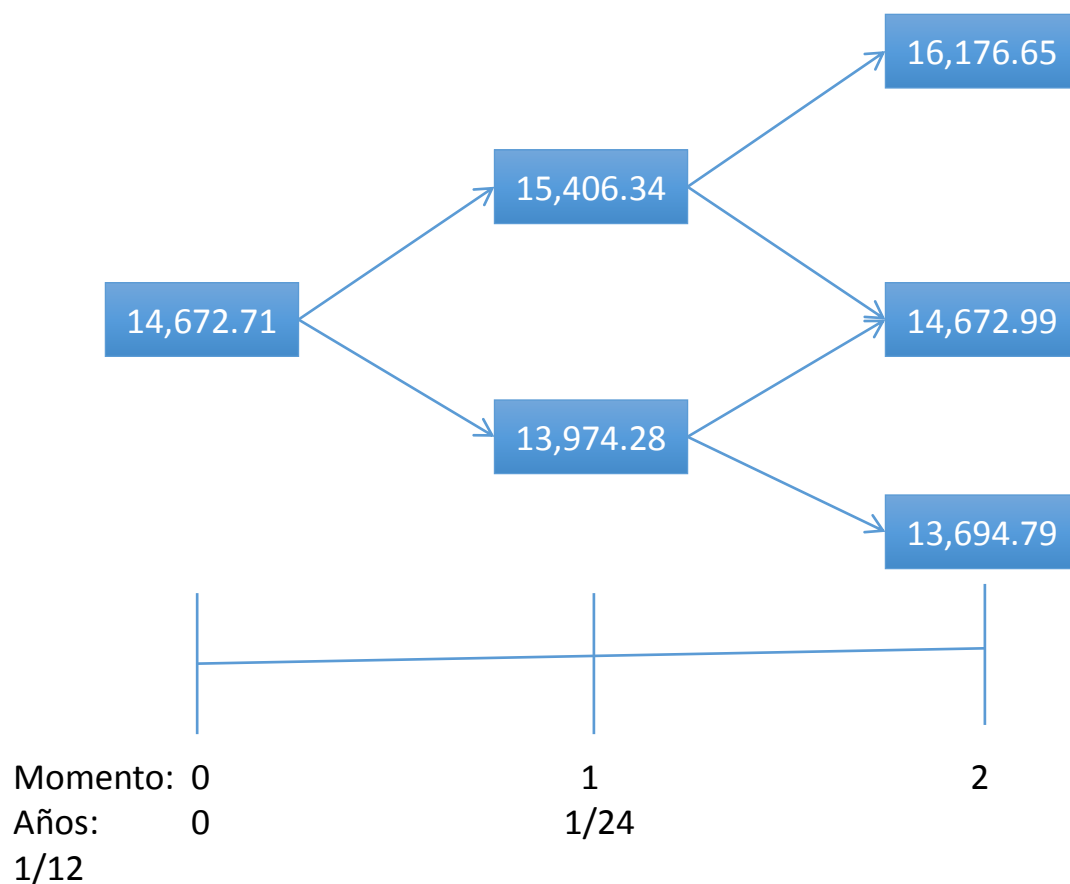


Figura 4.8 Árbol binomial (Bacchini, 2008)

#### 4.3.5 Valuación de opciones europeas considerando dos pasos

Al valorar opciones usando un paso del modelo binomial, se calculaba el valor esperado en el momento uno (calculado con las probabilidades neutrales a riesgo) y luego, se descontaba el resultado a la tasa libre de riesgo.

Los posibles valores en el momento uno eran conocidos, debido a que en la fecha de expiración el valor de una opción es simplemente su pay off.

Para el caso en que tengamos dos pasos, los valores en el momento dos serán conocidos (los pay off para cada posible precio del subyacente). Con estos valores, podemos calcular los posibles valores de la opción en el momento uno, utilizándola técnica de un paso, siendo la probabilidad:

$$q = \frac{(1+r)^{\Delta t} - d}{u - d} \dots \text{(Ec. 63)}$$

Donde  $\Delta t = T/n$  es la longitud de cada paso del modelo. Luego, con los valores de la opción en cada escenario del momento inicial. Es decir, que partimos del final del árbol, y vamos hacia atrás.

Suponga que el precio de un activo evoluciona de acuerdo a lo expuesto, se consideran dos pasos del modelo binomial con  $u=1.05$ ,  $d=0.9524$  y  $\Delta t = 1/24$  años, es decir, quince días aproximadamente. Suponga además que la tasa libre de riesgo es de 5%. Entonces la probabilidad de alza neutral a riesgo es:

$$q = \frac{(1 + 5\%)^{1/24} - 0.9524}{1.05 - 0.9524} = 0.5087 \dots \text{(Ec. 64)}$$

Considere un Call lanzado sobre el activo en cuestión, con Precio de Ejercicio \$133,480.92 y vencimiento en un mes. El valor de la opción al momento 2 (luego de 2 quincenas, es decir, luego de un mes) será simplemente el payoff para cada uno de los posibles precios del activo.

Si al final del mes se producen dos alzas, el precio sería \$163,339.83, y el valor del call correspondiente sería:

$$C_{2;uu} = \max(16,176.66 - 133,480.92) = \$0 \dots \text{(Ec. 65)}$$

En caso de que se produzca un alza y una baja, el precio luego de un mes sería \$148,153.63 , y el pay off:

$$C_{2;ud} = \max(14,672.71 - 133,480.92) = \$0 \dots \text{(Ec. 66)}$$

Finalmente, si se produce dos bajas, el precio del subyacente sería \$ , siendo el valor de la opción:

$$C_{2;dd} = \max(13,308.58 - 133,480.92) = \$0 \dots \text{(Ec. 67)}$$

Con estos valores del momento 2, podemos utilizar la técnica de un paso para calcular los posibles valores en el momento 1. Para ello, dividimos el árbol en ramas que representan modelos de un paso.

Si el precio del subyacente en el momento 1 es \$15,406.35 , entonces hay sólo dos posibles precios para el activo: 16,176.66 y 14,672.72 , y . los pay off correspondientes son: 0 , y 0. Con estos dos valores de pay off, calculamos el valor de la opción correspondiente al nodo superior del momento 1:

$$C_{1;u} = \frac{[C_{2;uu} * q + C_{2;ud} * (1 - q)]}{(1.05^{1/24})} = \frac{[0 * 0.5087 + 0 * 0.4913]}{(1.05^{1/24})} = 0 \dots \text{(Ec. 68)}$$

Por otra parte, si luego de la primera quincena el precio es \$13,974.01, entonces, los únicos posibles precios luego de un mes son \$ 14,672.71 ó \$13,308.58. Los pay off correspondientes son: \$0 y \$0. Con estos valores calculamos el valor de la opción en el nodo inferior del momento 1:

$$C_{1;d} = \frac{[C_{2;du}*q+C_{2;dd}*(1-q)]}{(1.05^{1/24})} = \frac{[0*0.5087+0*0.4913]}{(1.05^{1/24})} = 0 \dots \text{(Ec. 69)}$$

Luego, una vez que se conocen los valores del momento 1, se trabaja como en la sección anterior con un solo paso. El valor del Call en el momento cero será, entonces:

$$C_0 = \frac{[C_{1;u}*q+C_{1;d}*(1-q)]}{(1.05^{1/24})} = \frac{0*0.5087+0*0.4913}{(1.05^{1/24})} = 0 \dots \text{(Ec. 70)}$$

En la figura 4.9 se ilustra la resolución que se encuentra en el CD. (del libro evaluación de inversiones con opciones reales utilizado Excel) con la cual también se calcula el valor de una opción de compra con dos pasos europea:

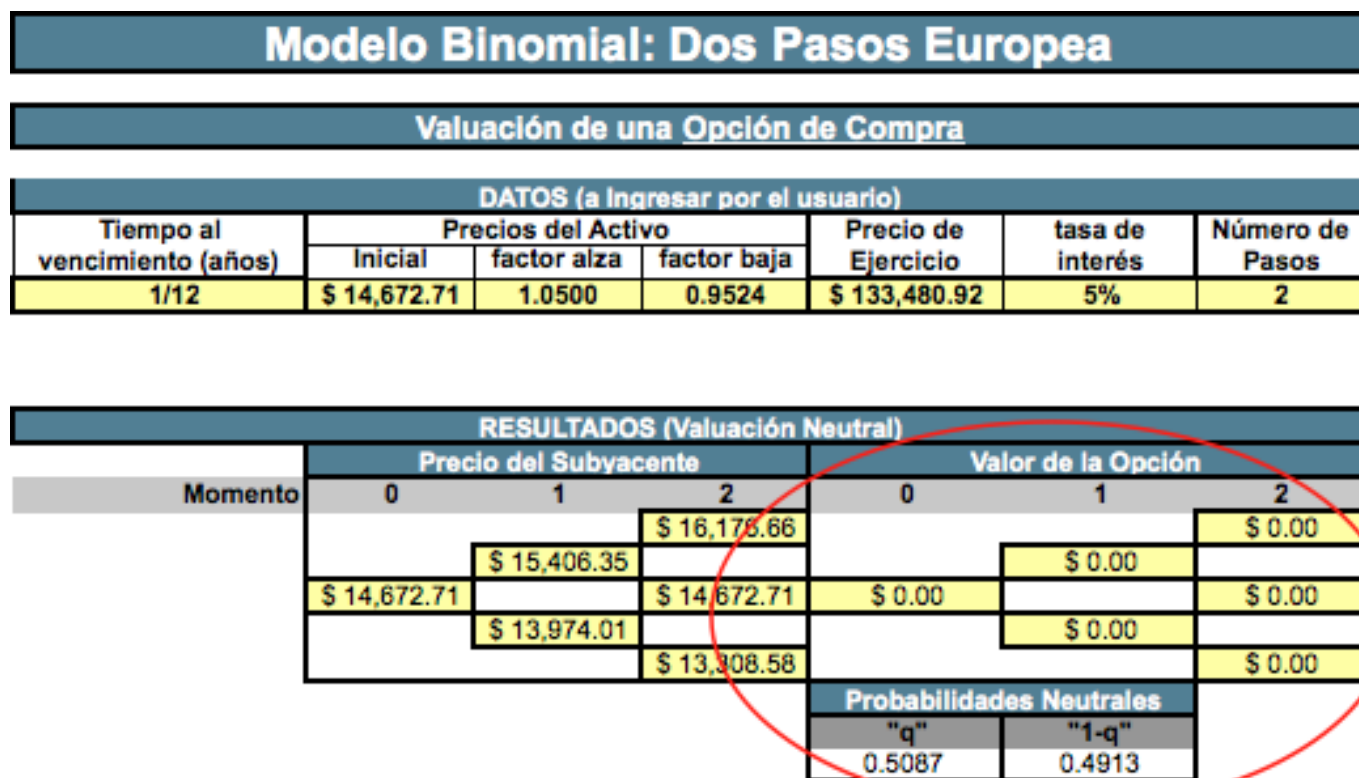


Figura 4.9 Valiación de opciones uropeas considerando dos pasos (Bacchini, 2008)

#### 4.3.6 Valuación de opciones americanas considerando dos pasos

Para valuar una opción americana mediante el modelo binomial, se procederá de manera análoga a lo expuesto anteriormente. La única diferencia radica en que en cada nodo del árbol deberá verificarse si es conveniente o no ejercer la opción, ya que el ejercicio de la misma puede realizarse en cualquier momento hasta la fecha de expiración.

En caso de que el valor que se obtiene por el ejercicio (el pay off) supere al valor calculado mediante la inducción hacia atrás en el árbol binomial, es óptimo ejercer la opción y, por lo tanto, el valor de la misma será su pay off. Es decir que, en cada nodo previo al momento final, se deberá comparar el pay off con el valor de mantener “viva” la opción). Luego, el máximo de estos dos será el valor de la opción en el nodo correspondiente:

$$V_t = \max[\text{ejercer}_t; \text{mantener}_t] = \max[\text{payoff}_t; \frac{V_{t+1}^u * q + V_{t+1}^d * (1 - q)}{(1 + r)}] \dots (\text{Ec. 71})$$

En la expresión anterior se expresó de manera genérica el pay off, debiendo reemplazarse la misma por la expresión correspondiente a los Calls o Puts, según sea el caso. A su vez se indicó con subíndices t y t+1 el momento siguiente, respectivamente.

En el caso de opciones de compra americanas sobre activos que no pagan dividendos, nunca es conveniente ejercer de manera anticipada y el valor coincide con el de la opción correspondiente europea. Sin embargo, en las opciones de venta se presentan ocasiones donde el ejercicio anticipado resulta conveniente.

Considere una opción de venta americana, con vencimiento en dos meses (T=2/12), donde el precio del activo subyacente es actualmente \$148,153.63, y el precio de ejercicio también (S<sub>0</sub> = \$14,672.71 y X = \$133,480.92). Suponga para la evolución del precio un modelo binomial de dos pasos, con u= 1,10 y d=0.9091 (en cada paso el precio sube un 10 % o baja un 9.09%).

De este modo, el árbol binomial para la evolución del precio del subyacente es:

Precio del Subyacente		
0	1	2
		\$ 17,753.98
	\$ 16,139.98	
\$ 14,672.71		\$ 14,672.71
	\$ 13,338.83	
		\$ 12,126.21

Teniendo los posibles precios del subyacente al vencimiento, los pay off correspondientes (el valor de la Opción en dicho momento) son:

- En caso de dos alzas:  $P_{uu} = \max(133,480.92 - 17,753.98) = \$115,726.94 \dots (\text{Ec. 72})$
- En caso de un alza y una baja  $P_{ud} = \max(133,480.92 - 14,672.72) = \$118,808.21 \dots (\text{Ec. 73})$
- En caso de dos bajas  $P_{dd} = \max(133,480.93 - 12,126.21) = \$121,354.71 \dots (\text{Ec. 74})$

De acuerdo a los parámetros del modelo, la probabilidad de alza neutral a riesgo es :

$$q = \frac{(1 + 5\%)^{1/12} - 0.9091}{1.10 - 0.9091} = 0.4975 \dots (\text{Ec. 75})$$

Con esta probabilidad y los valores al encimiento expuestos antes, calculamos los valores de mantener la opción a momento 1, y lo comparamos con el resultado de ejercerla, tomando como valor de la opción el máximo entre ambos:



- En el nodo superior(cuando el precio del subyacente es \$16,139.98), el valor del ejercicio es negativo, mientras que mantener la opción tiene valor nulo:

$$\begin{aligned}
 p_u &= \max[\text{ejercer}; \text{mantener}] \\
 &= \max[14,672.71 - 16,139.98 [p_{ud} x q + p_{ud} x (1 - q)] / [(1 + 5\%)^{1/12}]] \\
 &= \max[-1,467.27 [118,808.21 + 0.4975 + 118,808.21 x 0.5025] / [(1 + 5\%)^{1/12}]] \\
 &= \max[117,340.94; 0] = \$117,340.94 \dots \text{(Ec. 76)}
 \end{aligned}$$

- En el nodo inferior (cuando el precio del subyacente es \$134,685.12), es conveniente ejercer la opción, porque el resultado que se obtiene así es superior al valor de mantener la opción:

$$\begin{aligned}
 p_d &= \max[\text{ejercer}; \text{mantener}] \\
 &= \max[14,672.71 - 13,338.83 [p_{du} x q + p_{dd} x (1 - q)] / [(1 + 5\%)^{1/12}]] \\
 &= \max[1,333.88 [118,808.21 x 0.4975 + 121,354.71 x 0.5025] / [(1 + 5\%)^{1/12}]] = \\
 &= \max[0; 120,142.09] = \$120,142.09 \dots \text{(Ec. 77)}
 \end{aligned}$$

- Finalmente, el valor de la opción al momento cero será máximo entre el resultado por ejercicio y el valor de mantener la Opción el cual calculamos con los valores y calculados previamente:

$$\begin{aligned}
 p_0 &= \max[\text{ejercer}; \text{mantener}] \\
 &= \max[14,672.71 - 14,672.71 [p_u x q + p_d x (1 - q)] / [(1 + 5\%)^{1/12}]] \\
 &= \max[0 [117,340.94 x 0.4975 + 120,142.09 x 0.5025] / [(1 + 5\%)^{1/12}]] = \max[0; 118,808.21] = \$118,808.21 \dots \text{(Ec. 78)}
 \end{aligned}$$

En la figura 4.10 se ilustra la resolución que se encuentra en el CD. (del libro evaluación de inversiones con opciones reales utilizado Excel) con la cual también se calcula el valor de una opción de venta con dos pasos americana:

# Modelo Binomial: Dos Pasos Americana

## Valuación de una Opción de Venta

DATOS (a Ingresar por el usuario)							
Tiempo al vencimiento (años)	Precios del Activo			Precio de Ejercicio	tasa de interés	tasa de pérdida	Número de Pasos
	Inicial	factor alza	factor baja				
1/6	\$ 14,672.71	1.1000	0.9091	\$ 133,480.92	5%	0%	2

RESULTADOS (Valuación Neutral)							
Momento	Precio del Subyacente			Probabilidades Neutrales			
	0	1	2			"q"	"1-q"
			\$ 17,753.98			0.4975	0.5025
		\$ 16,139.98					
	\$ 14,672.71		\$ 14,672.71				
		\$ 13,338.83					
			\$ 12,126.21				
	Valor de la Opción Europea			Valor de la Opción Americana			
	0	1	2	0	1	2	
			\$ 115,726.94			\$ 115,726.94	
		\$ 116,799.33			\$ 117,340.94		
	\$ 117,727.19		\$ 118,808.21	\$ 118,808.21		\$ 118,808.21	
		\$ 119,600.48			\$ 120,142.09		
			\$ 121,354.71			\$ 121,354.71	

Figura 4.10 Valuación de la opción europea considerando dos pasos (Bacchini, 2008)

### 4.3.7 Activos con dividendos

Aquí se considerará solamente el pago de dividendos, donde la fecha de pago de cada uno de ellos coincide con los pasos del modelo binomial. A su vez, se supondrá que el dividendo es un porcentaje del precio del subyacente. Lo supuesto en el párrafo anterior tiene fundamento en la aplicación de esta técnica a las opciones reales, donde supondremos que al no ejercer la opción se pierde cierta suma.

La única modificación que se realiza en cuanto al caso sin dividendos es la reducción en el valor del activo en el porcentaje estipulado por el dividendo. De este modo, si llamamos  $k$  al porcentaje de dividendo, en cada nodo el precio del subyacente será:

$$s_t x (1 - k) \dots \text{(Ec. 79)}$$

A continuación ilustramos el procedimiento con un Call, en el cual por la pérdida de los dividendos que se ocasionaría si no se ejerce la opción, resulta conveniente ejercer de manera anticipada la opción.

Valuación de una opción de compra con dividendos americana utilizando dos pasos del modelo binomial

Los datos de la evaluación del precio son:  $s_0 = 14,672.71$   $u = 1.05$  y  $d = 0.9524$ . Supongamos ahora que el activo paga un dividendo quincenal igual al 2 % del valor del activo. Con lo cual, en el momento 1, los posibles precios son:

- En caso de alza:  $14,672.71 \times 1.05 \times (1-2\%) = \$15,098.22 \dots$  (Ec. 80)
- En caso de baja:  $14,672.71 \times 0.95 \times (1-2\%) = \$13,694.53 \dots$  (Ec. 81)

Luego, en el momento dos, los precios posibles serían:

- En caso de dos alzas:  $15,098.22 \times 1.05 \times (1-2\%) = \$15,536.07 \dots$  (Ec. 82)
- En caso de dos bajas:  $13,694.53 \times 0.95 \times (1-2\%) = \$12,781.56 \dots$  (Ec. 83)
- En caso de una alza y una baja:  $15,098.22 \times 0.9524 \times (1-2\%) = 13,694.53 \times 1.05 \times (1-2\%) = \$14,091.67 \dots$  (Ec. 84)

A su vez, en el ejemplo que se consideró una Opción de Compra Europea con vencimiento en un mes, cuyo precio de ejercicio es  $X = \$ 133,480.92$ . por lo tanto, los posibles pay off al vencimiento son:

- En caso de dos alzas:  $C_{uu} = \max(15,536.07 - 133,480.92; 0) = \$0 \dots$  (Ec. 85)
- En caso de un alza y una baja:  $C_{ud} = \max(14,091.67 - 133,480.92; 0) = \$0 \dots$  (Ec. 86)
- En caso de dos bajas:  $C_{dd} = \max(12,781.56 - 133,480.92; 0) = \$0 \dots$  (Ec. 87)

Utilizando la técnica de un paso para cada rama, calculamos el valor en cada nodo del momento 1, utilizando la tasa libre de riesgo del 5%:

- En el nodo superior (cuando el precio del subyacente es \$ 15,098.22, es conveniente ejercer la opción porque el resultado que se obtiene es superior al valor de mantener la opción:

$$C_u = \max \{ \text{ejercer; mantener} \} = (15,098.22 - 133,480.92; [C_{uu}xq + C_{ud}x(1-q)] / [(1+5\%)^{1/24}] =$$

$$= \max[-118,382.7; [0x0.508 + 0x0.491] / [(1.05\%)^{1/24}] = \max[-118,382.7; 0] = \$0 \dots$$
 (Ec. 88)

- En el nodo inferior (cuando el precio del subyacente es \$13,694.53 el valor del ejercicio es negativo, mientras que mantener la opción tiene valor nulo:

$$C_d = \max \{ \text{ejercer; mantener} \} = (13,694.53 - 133,480.92; [C_{du}xq + C_{dd}x(1-q)] / [(1+5\%)^{1/24}] =$$

$$\max[-119,786.39; [0x0.508 + 0x0.491] / [(1+5\%)^{1/24}] = \max[-119,786.39; 0] = \$0 \dots$$
 (Ec. 89)

Finalmente, para obtener el valor de la opción en el momento inicial, se utiliza la técnica de un paso con los valores  $C_u$  y  $C_d$ . Se observa que no resulta conveniente el ejercicio en el momento inicial:

$$C_0 = \max \{ \text{ejercer; mantener} \} = \max[14,672.71 - 133,480.92; [C_u xq + C_d x(1-q)] / [(1+5\%)^{1/24}] =$$

$$= \max[-118,808.21; [0x0.5087 + 0x0.4913] / [(1+5\%)^{1/24}] = \max[-118,808.21; 0] = \$0 \dots$$
 (Ec. 90)

En la figura 4.11 se ilustra la resolución que se encuentra en el CD. (del libro evaluación de inversiones con opciones reales utilizado Excel) con la cual también se calcula el valor de una opción de compra con dos pasos americana:

## Modelo Binomial: Dos Pasos Americana

### Valuación de una Opción de Compra

#### DATOS (a Ingresar por el usuario)

Tiempo al vencimiento (años)	Precios del Activo			Precio de Ejercicio	tasa de interés	tasa de pérdida	Número de Pasos
	Inicial	factor alza	factor baja				
1/12	\$ 14,672.71	1.0500	0.9524	\$ 133,480.92	5%	2%	2

#### RESULTADOS (Valuación Neutral)

Momento	Precio del Subyacente			Probabilidades Neutrales	
	0	1	2	"q"	"1-q"
			\$ 15,536.07	0.5087	0.4913
		\$ 15,098.22			
	\$ 14,672.71		\$ 14,091.67		
		\$ 13,694.53			
			\$ 12,781.56		
Valor de la Opción Europea			Valor de la Opción Americana		
0	1	2	0	1	2
		\$ 0.00			\$ 0.00
	\$ 0.00			\$ 0.00	
\$ 0.00		\$ 0.00	\$ 0.00		\$ 0.00
	\$ 0.00			\$ 0.00	
		\$ 0.00			\$ 0.00

Figura 4.11 Valuación de una opción de compra con dos pasos americana (Bacchini, 2008)

#### 4.3.8 Valuación de una opción de venta europea utilizando cuatro pasos del modelo binomial

Considerando una opción de venta con vencimiento en dos meses y precio de ejercicio igual a \$133,480.92, lanzada sobre una acción cuyo precio de mercado hoy es \$14,672.71. Es decir que  $X=133,480.92$ ,  $S_0=\$14,672.71$  y  $T=2/12$ .

Si utilizamos un modelo binomial dividiendo el plazo al vencimiento de la opción en 4 períodos ( $n=4$ ), cada uno de ellos tendría 15 días aproximadamente, ya que  $\Delta t = \frac{2}{4} = \frac{1}{24}$  años.

Supongamos que en cada uno de estos períodos el precio puede subir un 5% o caer un 2.91% es decir que  $u=1.03$  y  $d=1-0.0291=0.9709$  (notamos que  $u \times d \cong 1$ ).

Si la tasa libre de riesgo es 4%, entonces la probabilidad neutral a riesgo es:

$$q = \frac{(1+r)^{\Delta t} - d}{u - d} = \frac{(1+4\%)^{1/24} - 0.9709}{1.03 - 0.9709} = 0.5203 \dots \text{(Ec. 91)}$$

Con ésta, podemos realizar la "inducción hacia atrás" y construir el árbol binomial de la opción de venta empezando por los pay off del momento 4. Los arboles correspondientes al precio del subyacente y al valor de la opción se pueden observar en la figura 4.12, que captura una opción de venta con cuatro pasos europea.

# Modelo Binomial: Cuatro Pasos Europea

## Valuación de una Opción de Venta

DATOS (a Ingresar por el usuario)						
Tiempo al vencimiento (años)	Precios del Activo			Precio de Ejercicio	tasa de interés	Número de Pasos
	Inicial	factor alza	factor baja			
1/6	\$ 14,672.71	1.0300	0.9709	\$ 133,480.92	4%	4

RESULTADOS (Valuación Neutral)					
Momento	0	1	2	3	4
<b>Precio del Subyacente</b>					
					\$ 16,514.26
				\$ 16,033.27	
			\$ 15,566.28		\$ 15,566.28
		\$ 15,112.89		\$ 15,112.89	
	\$ 14,672.71		\$ 14,672.71		\$ 14,672.71
		\$ 14,245.35		\$ 14,245.35	
			\$ 13,830.44		\$ 13,830.44
				\$ 13,427.61	
					\$ 13,036.51
<b>Valor de la Opción</b>					
					\$ 116,966.66
				\$ 117,229.70	
			\$ 117,479.09		\$ 117,914.64
		\$ 117,715.23		\$ 118,150.07	
	\$ 117,938.52		\$ 118,372.65		\$ 118,808.21
		\$ 118,582.77		\$ 119,017.61	
			\$ 119,214.93		\$ 119,650.48
				\$ 119,835.36	
					\$ 120,444.41

Probabilidades Neutrales
"q"
0.5203
"1-q"
0.4797

Figura 4.12 Valuación de una opción de venta europea utilizando cuatro pasos del modelo binomial (Bacchini, 2008)

### 4.3.9 Opciones de Compra Europea

El valor teórico de una Opción de Compra Europea es:

$$C_0 = S_0 \times N(d_1) - e^{-\delta x T} \times X \times N(d_2) \dots \text{(Ec. 92)}$$

Donde

$S_0$ : es el precio del subyacente en el momento cero (el momento de valuación)	$N(x)$ : indica la probabilidad acumulada por una distribución normal estándar hasta el valor x	$d_1$ : es un parámetro que surge al calcular la esperanza matemática y queda definido por:
--	---	---

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{X}\right) + (\delta + 0.5x\sigma^2)xT}{\sigma x\sqrt{T}} \dots \text{(Ec. 93)}$$

X: es el precio de ejercicio de la opción.	$\sigma$ : es el desvío estándar (volatilidad) hasta el vencimiento de la opción.
$\delta$ : es la tasa de interés libre de riesgo con capitalización continua.	$d_2$ : es otro parámetro de la fórmula que se define como: $d_2 = d_1 - \sigma x \sqrt{T}$

- Valuación de una opción de compra utilizando el método de Black and Sholes

Suponga que el precio de mercado de una acción es  $S_0 = \$148,153.63$  y la volatilidad anualizada es  $\sigma = 22\%$ . Asu vez, la tasa libre de riesgo es 5% anual para un plazo de 3 meses.

Considere un call con precio de ejercicio  $X=133,480.92$  y vencimiento en 3 meses ( $T=3/12$ ).

Con estos datos calculamos

$$d_1 \cong \frac{\ln\left(\frac{14,672.71}{133,480.92}\right) + (0.0488 + 0.5 \times 0.22^2) \times 3/12}{0.22 \times \sqrt{3/12}} = -19.90 \dots (\text{Ec. 94})$$

$$d_2 = -19.90 - 0.22 \times \sqrt{3/12} = -20.01 \dots (\text{Ec. 95})$$

Luego, el valor teórico de la Opción es :

$$C_0 = 14,672.71 \times N(-19.90) - e^{-0.0488 \times 3/12} \times 133,480.92 \times N(-20.01) = 0 \dots (\text{Ec. 96})$$

En la figura 4.13 se ilustra la resolución con el correspondiente aplicativo. Se valúa una opción de compra con un modelo de black – Scholes-Merton

Modelo de Black - Scholes - Merton					
Valuación de una Opción de Compra					
DATOS (a Ingresar por el usuario)					
Tiempo al vencimiento (años)	Precios del Activo		Precio de Ejercicio	tasa de interés	tasa continua
	Inicial	volatilidad			
1/4	\$ 14,672.71	0.22	\$ 133,480.92	5.00%	4.88%
Prima Call					
\$ 0.00					

Figura 4.13 Opciones de compra europea con un modelo de black-scholes-merton (Bacchini, 2008)

### 4.3.10 Opciones de venta europea

Cuando se calcula la esperanza matemática descontada expuesta al inicio de esta sección, utilizando los supuestos de Black y Sholes, y se reemplaza  $V_T$  por el pay off de una opción de venta en su fecha de expiración,  $\max(X - S_T; 0)$ , se obtiene la siguiente fórmula de valuación para opciones de venta europeas.

El valor teórico de una opción de venta europea es:

$$P_0 = e^{-\delta T} X N(-d_2) - S_0 N(-d_1) \dots (\text{Ec. 97})$$

Donde las variables son definidas en el apartado anterior

$S_0$ : es el precio del subyacente en el momento cero (el momento de valuación)	$N(x)$ : indica la probabilidad acumulada por una distribución normal estándar hasta el valor x	$d_1$ : es un parámetro que surge al calcular la esperanza matemática y queda definido por:
--	---	---

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{X}\right) + (\delta + 0.5 \sigma^2) x T}{\sigma x \sqrt{T}} \dots (\text{Ec. 98})$$

$X$ : es el precio de ejercicio de la opción.	$\delta$ : es la tasa de interés libre de riesgo con capitalización continua.	$\sigma$ : es el desvío estándar (volatilidad) anualizado por unidad de tiempo.	$T$ : es el plazo (en años) hasta el vencimiento de la opción.	$d_2$ : es otro parámetro de la fórmula que se define como:
---	---	---	--	---

$$d_2 = d_1 - \sigma x \sqrt{T} \dots (\text{Ec. 99})$$

Valuación de una opción de venta utilizando el método de Black and sholes.

Supongamos que una acción cotiza hoy en el mercado a  $S_0 = \$14,672.71$  y la volatilidad anualizada es  $\sigma = 27\%$ . Asuma, además que la tasa libre de riesgo es 5% anual para todos los vencimientos. Analicemos ahora una Opción de Venta, Put, con precio de ejercicio  $X = \$133,480.92$  y vencimiento en 2 meses ( $T = 2/12$ ).

Con la información de mercado y los datos del contrato, calculamos:

$$d_1 \cong \frac{\ln\left(\frac{14,672.71}{133,480.92}\right) + (0.0392 + 0.5 \times 0.27^2) \times 2/12}{0.27 \times \sqrt{2/12}} = -19.91 \dots (\text{Ec. 100})$$

$$d_2 = -19.91 - 0.27 \times \sqrt{2/12} = -20.02 \dots (\text{Ec. 101})$$

Luego, el valor teórico de la Opción es :

$$p_0 = e^{-0.03922071 \times 2/12} \times 133,480.92 \times N(20.02) - 14,672.71 \times N(19.91) = \$117,938.52 \dots (\text{Ec. 102})$$

En la figura 4.14 se ilustra la resolución que se encuentra en el CD. (del libro evaluación de inversiones con opciones reales utilizado Excel) con la cual también se calcula el valor de una opción de venta con el modelo de Black – Scholes-Merton.

<b>Modelo de Black - Scholes - Merton</b>					
<b>Valuación de una Opción de Venta</b>					
<b>DATOS (a Ingresar por el usuario)</b>					
Tiempo al vencimiento (años)	Precios del Activo		Precio de Ejercicio	tasa de interés	tasa continua
	Inicial	volatilidad			
1/6	\$ 14,672.71	27.00%	\$ 133,480.92	4.00%	3.92%
<b>Valor Put</b>					
\$ 117,938.52					

Figura 4.14 Valuación de una opción de venta con el modelo black-scholes-merton (Bacchini, 2008)



## Capítulo 5 Valuación utilizando opciones reales

Previamente se nombraron las opciones reales como una metodología para valuar proyectos de inversión. Aquí se presentarán formalmente a las opciones reales, describiendo brevemente las distintas formas que pueden tomar dentro de un proyecto de inversión.

Sin embargo, no todos los proyectos de inversión poseen o contienen opciones reales. La existencia o no de las mismas está sujeta a diferentes factores y características de las inversiones, siendo la incertidumbre de la inversión un factor clave.

En primer lugar, se debe definir qué es una opción real. Básicamente, se la puede definir como “un derecho, pero no una obligación, de tomar una acción a un determinado costo por un período predeterminado”. Es decir, al igual que las opciones financieras, al tener una opción real se posee un derecho de adquirir algo por un costo que ya está predeterminado. Sin embargo, a diferencia de las opciones reales y su similitud con las opciones financieras.

### **Incertidumbre y flexibilidad**

Existen dos componentes esenciales, sin los cuales las opciones reales no podrían presentarse: la incertidumbre y la flexibilidad. Estos dos conceptos son fundamentales para entender cuándo un proyecto de inversión puede contener una opción real poder determinar cuál es el valor de esta opción.

El primero de ellos es el concepto de incertidumbre. Entendiendo a las opciones reales como el derecho a tomar una decisión respecto a una inversión para adecuarla a las posibles situaciones que se presentan en cada período, se supone que existe un entorno con incertidumbre. Esta incertidumbre provoca que una decisión tomada en un momento determinado no sea la mejor decisión en un futuro cercano, ya que las condiciones en las cuales se ha tomado dicha decisión han cambiado. En lo que se refiere a proyectos de inversión, para una empresa es importante la incertidumbre de distintas variables económicas en general, entre las que encontramos el comportamiento de la economía (crecimiento o caída), la inflación o la evolución del mercado en el que se desempeña la empresa, así como las variables propias de la empresa y el proyecto de inversión, en cuanto a precio y productividad (si se trata de la venta de un producto).

Si una inversión no posee esta incertidumbre, la decisión que se toma al inicio y la planificación de la inversión no se verá afectada. Por lo tanto, las opciones reales no tienen razón de existir, ya que no hay decisiones futuras que se deban tomar sobre la inversión. Sin embargo, en la presencia de incertidumbre la planificación inicial que se realiza sobre un proyecto de inversión puede diferir en gran medida del desarrollo que luego tendrá esta inversión. En este escenario es donde cobran valor las opciones reales, brindándole cierto margen de acción a la gerencia de la empresa. Este margen que posee la gerencia es lo que denominamos flexibilidad.

La flexibilidad es la capacidad que tiene la empresa de modificar un proyecto de inversión, de manera de adaptarlo a los cambios que se dan en el entorno, adecuarlo ante la incertidumbre. Cabe destacar que la flexibilidad no es un atributo de la empresa, si no que es una propiedad del proyecto de inversión, el cual debe

ser capaz de adecuarse a distintos escenarios. Pero ahora que esta flexibilidad da lugar a la existencia de opciones reales debe ser consecuencia de un aprendizaje. Y este es el tercer concepto importante que debe estar presente para que se manifieste una opción real. En un marco de incertidumbre, la empresa debe ser capaz de aprender y obtener información sobre la inversión, que le permita tomar decisiones que optimicen la inversión.

En este marco, en un mundo con incertidumbre, en el cual existe aprendizaje sobre las condiciones del entorno y la inversión, que permite tomar decisiones para adaptar un proyecto de inversión, entonces existe la posibilidad de que la inversión contenga opciones reales. Estas pueden surgir naturalmente o pueden ser adquiridas. Aquéllas que se dan naturalmente, son las opciones reales que se generan por las propias cualidades del proyecto de inversión, por las características del mercado en el que opera la empresa o por características del mercado en el que opera la empresa o por capacidades propias de la empresa, que permiten la flexibilidad de las inversiones. Por otro lado, las empresas pueden adquirir opciones reales a partir de distintas tecnologías que brinden flexibilidad, así como de determinadas inversiones que permitan expandir las capacidades de la empresa. (Bacchini, 2008)

- **Las opciones reales y las opciones financieras**

Como ya se mencionó anteriormente, existe una relación directa entre las opciones reales y las opciones financieras y, por lo tanto, se pueden definir los componentes de las opciones reales a partir de los componentes de las opciones financieras.

A partir de la definición, queda claro que ambas representan un derecho a adquirir o vender un determinado bien. Este bien es el elemento fundamental de las opciones. En las opciones financieras se tiene el derecho de comprar o vender un activo financiero, el cual se denomina activo subyacente. Para las opciones reales se usará el mismo término (activo subyacente) pero referido a otro activo. Este activo sobre el que se tendrá un derecho es el proyecto de inversión. Y este derecho se refleja en la toma de una decisión, en una acción, sobre el proyecto de inversión. Esta acción puede ser diferir la inversión abandonar un proyecto, ampliar o reducir una inversión, etc., y todas ellas están definidas sobre el mismo activo, que es el valor del proyecto de inversión.

El segundo elemento que se necesita para definir una opción financiera es el precio de ejercicio. Este precio de ejercicio se define como el monto que se va a pagar para adquirir un activo o el monto que se va a recibir por vender un activo. En el caso de las opciones reales, el precio de ejercicio se va a definir como el monto a desembolsar para realizar una inversión, o la ganancia por la venta (abandono) de un proyecto de inversión.

Por último, la opción financiera tiene un vencimiento, un período por el cual el derecho a comprar o vender un activo tiene vigencia. Las opciones reales también tienen un vencimiento, dado por un periodo durante el cual la empresa puede tomar una determinada decisión. La flexibilidad de una inversión puede no estar presente siempre, sino por un plazo de tiempo determinado. Por ejemplo, la opción de diferir una inversión puede estar limitada por la capacidad que tengan otras empresas de entrar en el mercado, lo cual generará pérdidas para la empresa que posee la opción. Dada esta analogía entre las opciones financieras y las opciones reales es que se utilizan los mismos métodos de valuación. El valor que genera una opción real permite incrementar la valuación de un proyecto de inversión. Las opciones reales agregan valor a las inversiones.

Este valor agregado se puede ver de la siguiente manera. En primer lugar, se diferencia entre dos conceptos de valor actual. Por un lado, se denomina valor actual neto pasivo (**VAN<sup>P</sup>**) al valor actual neto tradicional es decir

al valor actual de los flujos de fondos futuros de la inversión menos el costo. Así mismo, se denomina valor actual neto activo ( $VAN^A$ ) al valor actual neto pasivo más el valor que surge de las opciones reales que pueda contener el proyecto de inversión:

$$VAN^A = VAN^P + \text{valor de las Opciones Reales ... (Ec. 103)}$$

De esta manera, el valor de un proyecto de inversión se ve incrementado a partir del valor de las opciones reales. A continuación, se describirán los distintos tipos de opciones reales, identificando los componentes particulares en cada una de ellas, así como una primera aproximación de la valuación de las mismas. (Bacchini, 2008)

### 5.1 Diferir la Inversión

Entre los elementos que deben estar presentes para que existan las opciones reales, se nombró a la flexibilidad. Y es esta flexibilidad la que genera el valor de las opciones reales. El valor de las opciones reales es el valor de la flexibilidad de una inversión.

En esta sección, se considerará un tipo de flexibilidad, dada por la posibilidad de diferir una inversión, es decir, poder posponer por un tiempo la decisión de realizar una inversión. Durante este período la empresa puede obtener información acerca de la inversión, del mercado, etc., que le permita tomar una decisión más acertada.

La opción de diferir una inversión puede entenderse como una opción de compra americana. La empresa tiene en sus manos la opción de invertir en un proyecto de inversión, cuyo valor está dado por el valor actual de los flujos de fondos futuros, el cual puede comprar si realiza la inversión. Si la empresa no realiza la inversión, sigue teniendo en su poder la opción de invertir.

Comparándolo con una opción financiera de compra americana, el activo subyacente es el valor actual de los flujos de fondos futuros, mientras que el precio del ejercicio es el costo de la inversión. Por último, la posibilidad de diferir no estará abierta por siempre, sino que estará sujeta a las condiciones del mercado y la competencia. Este límite es el que fijará la fecha de expiración de la opción.

A continuación, se presentará la metodología de valuación por medio de opciones reales. En primer lugar, se valorará una inversión por medio del VAN, que valúa la inversión sin flexibilidad, y luego se valorará el mismo proyecto por medio de las opciones reales, que agregan el valor de la flexibilidad de la inversión.

UTILIDAD BRUTA	-	68,923.20	17,039.69	18,892.88	20,618.03	22,679.83
VAN	\$14,672.71					

**TABLA 5.1 UTILIDAD BRUTA Y VAN**

El VAN de la inversión es positivo, y se debe realizar la inversión. En este caso, se considera que la inversión es “ahora o nunca”, es decir, la oportunidad de invertir se pierde después del primer año.

Sin embargo, la mayoría de las inversiones no son de este estilo y es posible posponer la decisión de inversión. Considere, que la misma empresa tiene la posibilidad de diferir la inversión por un año, es decir, postergar la decisión de inversión por un año. Esta posibilidad es una opción real denominada opción de diferir.

Una de las decisiones importantes que debe tomar una empresa a la hora de decidir sobre una inversión, es el momento en el que la misma debe realizarse. Muchas veces, las decisiones de inversión se toman en un momento determinado, sin contemplar la posibilidad de posponer la inversión para un futuro más venturoso. En muchos casos una inversión puede no ser rentable en el momento en el que se la está analizando, pero no por eso debe descartarse la inversión. Ésta puede ser muy fructífero, si se realiza en un momento futuro.

Esta posibilidad de posponer o diferir la inversión les brinda cierta flexibilidad a las decisiones, y a la vez le agrega valor al proyecto. Este valor se lo aporta la flexibilidad en la decisión, y puede ser evaluada por medio de la teoría de opciones reales.

Dentro de las opciones reales, se conoce como opción de diferir. La opción de diferir se puede asemejar a una opción de compra(Call) americana. La empresa puede comprar un activo (el flujo de fondos que genera la inversión que se desea hacer), derecho que dura un período determinado y por el cual va a pagar un precio predeterminado (el monto de la inversión). Este derecho de compra (la posibilidad de realizar la inversión) lo puede ejercer en cualquier momento durante dicho período. A su vez, se puede analizar como una opción sobre un activo que paga dividendos, donde en este caso, los dividendos son los flujos de fondos que se pierden período a período por no realizar la inversión.

La valuación de las opciones de diferir se realizará utilizando la teoría de los árboles binomiales presentada anteriormente. El subyacente en este caso está representado por el valor actual de los flujos futuros, y deberá construirse un árbol binomial que represente la evolución del mismo.

Luego, a partir de los valores finales del árbol mencionada se calculan los posibles Pay Off de la opción, que son simplemente el VAN del proyecto, siempre y cuando sea positivo.

$$\mathbf{PayOff} = \mathbf{max(0; -inversion + VA_T)} = \mathbf{max(0; VAN_T)} \dots (\text{Ec. 104})$$

Luego, utilizando la técnica de la inducción hacia atrás, se calculan los valores de la Opción en los momentos anteriores. Teniendo en cuenta que se supone que la opción es americana, al valor en cada escenario será el mayor entre el resultado por ejercicio y el valor de la opción europea “viva” correspondiente. Es decir, que en cada nodo , el valor de la opción de diferir será el mayor entre:

$$\text{Resultado por ejercicio en "t"} = \mathbf{-Inversion + VA_t} \dots (\text{Ec. 105})$$

$$\text{Valor de la opción "viva"} = \frac{V_u \times q + V_d(1-q)}{(1+r)^{\Delta t}} \dots (\text{Ec. 106})$$

Donde  $r$  es la tasa de interés efectiva anual libre de riesgo,  $\Delta t$  es la longitud de cada periodo,  $V_u$  y  $V_d$  son los valores de la opción en los nodos adyacentes, en caso de que el valor del flujo de fondos aumente o disminuya, respectivamente, y  $q$  es la probabilidad neutral a riesgo de que el valor del flujo de fondos aumente.

El primer valor corresponde a ejercer la opción, es decir, realizar la inversión en ese momento, mientras que el segundo es el valor de mantener la opción es decir diferir la inversión por otro periodo. la empresa va a invertir en el momento en que el valor de realizar la inversión sea mayor al de posponerla.

### 5.1.1 Diferir un período

Supongamos que, transcurrido un año, se presentan dos escenarios. Uno favorable, en el cual los flujos de fondos anuales aumentan en un 20%, es decir, se multiplican por un factor  $u=1,20$ , siendo de \$ y otro desfavorable, en el que el flujo de fondos anualmente disminuye un 15 %, es decir, se multiplica por un factor  $d=0.85$ , siendo de \$. El Valor Actual de los flujos de fondos en el escenario favorable es:

$$VA_u = \sum_{t=1}^8 \frac{32,121.07}{(1+0.09)^t} = 17,607.25 \dots \text{(Ec. 107)}$$

mientras que el Valor Actual de los flujos de fondos en el escenario desfavorable es :

$$VA_d = \sum_{t=1}^8 \frac{22,752.43}{(1+0.09)^t} = 12,471.80 \dots \text{(Ec. 108)}$$

de donde, los VAN en los escenarios favorables y desfavorable son:

$$VAN_u = -133,480.92 + 17,607.25 = -115,873.67 \dots \text{(Ec. 109)}$$

y  $VAN_d = -133,480.92 + 12,471.80 = -121,009.12 \dots \text{(Ec. 110)}$  respectivamente.

Se observa que en el escenario favorable la inversión le reporta una ganancia, mientras que en el desfavorable se genera una pérdida. Si la empresa decide esperar para realizar la inversión, puede decidir no realizar la inversión en el escenario desfavorables. Es decir, los flujos de fondos para cada escenario van a ser:

$$V_1^u = \max[VA_1^u - Inversion; 0] = \max[-115,873.67 - 133,480.92; 0] = \$0 \dots \text{(Ec. 111)}$$

para el escenario favorable y \$

$$V_1^d = \max[VA_1^d - Inversion; 0] = \max[-121,009.12 - 133,480.92; 0] = \$0 \dots \text{(Ec. 112)}$$

para el escenario desfavorable.

En base a los valores del ejemplo, y suponiendo una tasa libre de riesgo tenemos que:

$$q = \frac{(1+5\%) - 0.85}{1.2 - 0.85} \cong 0.5714 \quad \Rightarrow \quad 1 - q \cong 0.4286 \dots \text{(Ec. 113)}$$

El valor de la Opción, será su valor esperado al momento uno, descontado a la tasa libre de riesgo. Para el ejemplo, teniendo en cuenta los payoff calculados más arriba, tenemos que :

$$ValorOpcion = \frac{V_1^u \cdot q + V_1^d \cdot (1-q)}{1+i} = \frac{0 \cdot 0.5714 + 0 \cdot 0.4286}{1.05} = \$0 \dots \text{(Ec. 114)}$$

En la siguiente figura se ilustra la resolución que se encuentra en el CD. (del libro Evaluación de inversiones con Opciones Reales utilizado Excel) con la cual también se calcula el valor de una opción de compra y la opción de diferir.

## Modelo Binomial: Un Paso

### Valuación de una Opción de Compra

#### DATOS (a Ingresar por el usuario)

Tiempo al vencimiento (años)	Precios del Activo			Precio de Ejercicio	tasa de interés	tasa de pérdida
	Inicial	factor alza	factor baja			
1	\$ 14,672.71	1.20	0.85	\$ 133,480.92	5.00%	

#### RESULTADOS (Valuación Neutral)

Precio del Subyacente		Valor de la Opción	
momento 0	momento 1	momento 0	momento 1
	\$ 17,607.25	Valor del Call	\$ 0.00
\$ 14,672.71		\$ 0.00	
	\$ 12,471.80		\$ 0.00

Probabilidades Neutrales		
"q"		"1-q"
0.5714		0.4286

Resultado Por ejercicio	
momento 0	momento 1
	\$ 0.00
\$ 0.00	
	\$ 0.00

Figura 5.1 Diferir en cinco periodos (Bacchini, 2008)

### 5.1.2 Diferir cinco períodos

Si la inversión que generará flujos de fondos por un Valor Actual de \$14,672.71. Este valor actual de los flujos de fondos varía período a período. Se va a analizar si es conveniente diferir la inversión. Por cada periodo que pasa sin que se realice la inversión, el inversionista tiene una pérdida por los ingresos que pudo haber tenido en dicho período, el cual se mide en un porcentaje del flujo de fondos. En este caso, la pérdida es del 5% del valor de la inversión.

Mensualmente, el valor actual de los flujos de fondos puede aumentar en un 20% o disminuir en un 16.66%. Esto significa que, transcurrido un mes, el valor actual de la inversión puede tomar los siguientes valores, dando lugar a dos escenarios:

- uno favorable, en el que la inversión vale  $14,672.71(1+20\%)=17,607.25$ , a este valor se le debe de restar el 5% de pérdida por no haber realizado la inversión, por lo tanto, el valor de la inversión es  $17,607.25 (1-5\%)=16,726.88$
- y otra desfavorable, en el que el valor de la inversión disminuye a  $14,672.71 (0.8333) =\$12,226.76$  que si le restamos la pérdida se reduce a  $12,226.76 \times (1-5\%)=11615.43$

De la misma manera se calculan los siguientes valores, armándose el siguiente árbol binomial.

Subyacente					
momento (años)					
0	1	2	3	4	5
					\$ 36,510.40
				\$ 30,425.33	
			\$ 25,354.44		\$ 25,861.53
		\$ 21,128.70		\$ 21,551.28	
	\$ 17,607.25		\$ 17,959.40		\$ 18,318.58
\$ 14,672.71		\$ 14,966.16		\$ 15,265.49	
	\$ 12,471.80		\$ 12,721.24		\$ 12,975.66
		\$ 10,601.03		\$ 10,813.05	
			\$ 9,010.88		\$ 9,191.10
				\$ 7,659.25	
					\$ 6,510.36

**Figura 5.2 Árbol binomial (Bacchini, 2008)**

La opción de diferir tiene una vigencia de 5 meses y la decisión de inversión debe tomarse al final de cada mes. Se sabe que el costo de la inversión es \$ 133,480.92 y que la tasa de interés anual libre de riesgo con capitalización instantánea es del 5% (equivalente a un 5.13% efectivo anual).

## Opción de Diferir

DATOS (a Ingresar por el usuario)						
Tiempo al vencimiento (años)	Precios del Activo			Precio de Ejercicio	Tasa de interés	Tasa de Pérdidas
	Inicial	factor alza	factor baja			
5	\$ 14,672.71	1.20	0.850	\$ 133,480.92	5.00%	

Resultados		
q	1-q	c
0.571428571	0.428571429	\$ 17.14

paso n°	0	1	2	3	4	5
t (años)	0	1	2	3	4	5

						\$ 36,510.40
				\$ 25,354.44	\$ 30,425.33	\$ -
		\$ 21,128.70	\$ -	\$ 21,551.28	\$ 25,861.53	\$ -
	\$ 17,607.25	\$ -	\$ 17,959.40	\$ -	\$ 18,318.58	\$ -
\$ 14,672.71	\$ -	\$ 14,966.16	\$ -	\$ 15,265.49	\$ -	\$ -
\$ -	\$ 12,471.80	\$ -	\$ 12,721.24	\$ -	\$ 12,975.66	\$ -
	\$ -	\$ 10,601.03	\$ -	\$ 10,813.05	\$ -	\$ -
		\$ -	\$ 9,010.88	\$ -	\$ 9,191.10	\$ -
			\$ -	\$ 7,659.25	\$ -	\$ -
				\$ -	\$ 6,510.36	\$ -
					\$ -	\$ -

Figura 5.3 Diferir en cinco periodos (Bacchini, 2008)

Finalmente, como es obvio, en la imagen siguiente se observa que el valor de la Opción en el último momento coincide con su resultado por ejercicio.

Resultado por ejercicio (VAN)						
						\$ -
				\$ -	\$ -	\$ -
		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -	\$ -
					\$ -	\$ -

Valor de la Opción "Viva"						
						\$ -
				\$ -	\$ -	\$ -
		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -	\$ -
					\$ -	\$ -

Figura 5.4 Árbol binomial de resultado por ejercicio van y el valor de la opción "viva" (Bacchini, 2008)



## 5.2 Abandonar el Proyecto

Uno de los problemas de los inversionistas es cómo reaccionar ante el fracaso de un negocio. Muchas veces ocurre que un inversionista se encuentra atado a un proyecto del cual no puede desprenderse y éste termina ocasionándole severas pérdidas.

Sin embargo, en muchos casos existe la posibilidad de abandonar la inversión, es decir, desprenderse del proyecto. Suponga una empresa que decide incursionar en un nuevo mercado, pero las ventas no son las esperadas, de manera que empieza a generar pérdidas. La empresa podría vender la maquinaria y la infraestructura destinada a dicho negocio, y así disminuir las pérdidas.

Esta posibilidad es lo que se conoce en la Teoría de Opciones Reales como Opción de Abandono. Haciendo una analogía con las opciones financieras, una opción de abandono es como una Opción de Venta, es decir, brinda la posibilidad de vender un activo a un precio predeterminado (precio de ejercicio) y por un período determinado. En este caso, el activo es el proyecto en el que invierte la empresa, que se puede valorar por medio del VAN; y el precio de ejercicio es el valor de venta de dichos recursos es mayor que el valor del proyecto, la empresa puede decidir abandonar el proyecto y lograr un mayor VAN a través del tiempo.

Luego, a partir de los valores finales del árbol mencionado se calculan los posibles Pay Off de la Opción que, en este caso, están dados por la diferencia entre el monto que se obtiene al abandonar el VAN que se resigna.

$$\text{PayOff} = \max(0; \text{ValorVenta} - \text{VAN}_T) \dots (\text{Ec. 115})$$

Luego, a través de la inducción hacia atrás para valorar opciones mediante árboles binomiales, se calculan los valores de la Opción en los nodos anteriores. Teniendo en cuenta que el abandono puede realizarse en cualquier período (la opción es americana), el valor en cada escenario será el mayor entre el resultado por ejercicio y el valor de la opción europea “viva” correspondiente. Es decir, que, en cada nodo, el valor de la Opción de Abandonar será el mayor entre:

$$\text{Resultado por ejercicio en "t"} = \text{ValorVenta} - \text{VAN}_t \dots (\text{Ec. 116})$$

$$\text{Valor de la opción "viva"} = \frac{V_u x q + V_d x (1-q)}{(1+r)^{\Delta t}} \dots (\text{Ec. 117})$$

Donde  $r$  es la tasa de interés efectiva anual libre de riesgo,  $\Delta t$  es la longitud de cada período,  $V_u$  y  $V_d$  son los valores de la opción en los nodos adyacentes, en caso de que el VAN aumente o disminuya, respectivamente y  $q$  es la probabilidad neutral a riesgo de que el VAN aumente.

El primer valor expuesto es el resultante de ejercer la opción, es decir, abandonar el proyecto en ese momento, mientras que el segundo valor corresponde a mantener la opción, es decir, continuar con el proyecto sin liquidarlo. La empresa va a abandonar el proyecto en el momento en que el valor de venta o reasignación de los activos destinados al proyecto sea mayor al valor de continuar (es decir, al valor de la opción de abandonarlo luego).

### 5.2.1 Abandonar en un período

Si se analiza nuestro propio ejemplo como una opción de abandono, la inversión cuyo valor actual de los costos asciende a \$133,480.92 y se espera que brinde flujos futuros por un valor actual de \$148153.63. es decir que el proyecto tiene un Valor actual Neto de:

$$-133,480.92 + 148,153.63 = \$14,672.71 \dots (\text{Ec. 118})$$

Al cabo de un año la evolución de la situación económica puede resultar favorable para el proyecto, en cuyo caso sería conveniente continuar con el mismo; o podría ser perjudicial, siendo quizás una mejor decisión abandonar el proyecto, liquidando los activos destinados al mismo. Se estima que el valor de la liquidación es igual al VAN actual del proyecto, es decir, \$14,672.71.

Además, al ser el VAN del proyecto igual al ingreso que se genera si se liquida el mismo de manera inmediata, hay que evaluar si resulta conveniente liquidarlo de manera inmediata o mantenerlo hasta el final del año y, allí analizar la conveniencia o no de la venta.

En base a los estudios realizados, se estima que, si el contexto evoluciona de manera favorable, al finalizar el año el valor de los costos será de \$14,672.71, mientras que el valor actual de los ingresos futuros ascenderá a \$247,838.37. es decir, que, en el escenario favorable, el VAN al momento 1 será:

$$VAN_u = -14,672.71 + 33,013.6 = 17,423.84 \dots (\text{Ec. 119})$$

Por otra parte, en caso de que la evolución de la situación no favorezca a la inversión realizada, el proyecto tendrá un costo actualizado de \$14,672.72 y el valor actual de los flujos futuros será de \$ 15,863.05. Es decir que el VAN al momento 1 en el escenario desfavorable será de:

$$VAN_d = -14,672.71 + 25,823.97 = 11,151.26 \dots (\text{Ec. 120})$$

considerando estos escenarios, puede observarse que el VAN, con respecto al momento inicial, puede aumentar un 10% o disminuir en el mismo porcentaje, ya que :

$$14,672.71 \times (1 + 10\%) = \$17,423.84 \dots (\text{Ec. 121}) \quad 14,672.71 \times (1 - 10\%) = \$11,151.26 \dots (\text{Ec. 122})$$

En el contexto de la valuación de una opción de compra utilizando un paso del modelo binomial, el párrafo anterior implica que los parámetros de alza y baja son  $u=1,10$  y  $d=.90$  respectivamente.

De esta manera, si supone que la tasa de interés libre de riesgo asciende al 5% efectivo anual, se puede realizar la valuación de la Opción (utilizando el CD libro Evaluación de inversiones con Opciones Reales utilizado Excel) con la cual también se calcula el valor de una opción de venta y la opción de Abandono.

## Modelo Binomial: Un Paso

### Valuación de una Opción de Venta

DATOS (a Ingresar por el usuario)						
Tiempo al vencimiento (años)	Precios del Activo			Precio de Ejercicio	tasa de interés	tasa de pérdida
	Inicial	factor alza	factor baja			
1	\$ 14,672.71	1.25	0.80	\$ 133,480.92	6.00%	5%

RESULTADOS (Valuación Neutral)					
Precio del Subyacente			Valor de la Opción		
momento 0		momento 1	momento 0		momento 1
		\$ 17,423.84			\$ 116,057.08
\$ 14,672.71			Valor del Put		\$ 111,986.32
		\$ 11,151.26			\$ 122,329.66

Probabilidades Neutrales		
"q"		"1-q"
0.5778		0.4222

Resultado Por ejercicio		
momento 0		momento 1
		\$ 116,057.08
\$ 118,808.21		
		\$ 122,329.66

**Figura 5.5 Abandonar en un periodo (Bacchini, 2008)**

En la figura 5.5 se observa que la opción de abandonar tiene un valor de \$111,986.32. A su vez, puede observarse que si se abandona el proyecto de manera inmediata (es decir, si se ejerce inmediatamente la opción de abandono) no se obtiene suma alguna, es decir, que el resultado por ejercicio al momento cero es nulo. Esto se debe a que el VAN (valor del subyacente) coincide con el valor de liquidación (precio de ejercicio). De esta manera, conviene mantener el proyecto por un año más si abandonarlo, debido a que el valor de la Opción “viva” supera al momento que se obtiene por su ejercicio.

En el momento 1, si la situación del mercado evoluciona de manera favorable para el proyecto, el VAN será de \$17,432.84 y el valor de venta de \$14,672.71, por lo cual claramente convendrá la continuidad, y la opción de abandono no tendrá valor alguno, ya que en caso de ejercerla se obtiene un resultado negativo. Esto puede observarse analizando el pay off de la opción:

$$\begin{aligned}
 \text{ValorVenta} &= -17,432.84 + 14,672.71 = -2,760.13 \Rightarrow \text{PayOff} = \max(0; \text{ValorVenta}) \\
 &= \max(0; -2,760.23) = \$0 \dots (\text{Ec. 123})
 \end{aligned}$$

Finalmente, en caso de que la evolución del contexto sea perjudicial para la inversión, el VAN será de \$11,151.26 siendo el valor de venta \$14,672.71. En este caso, claramente conviene ejercer la opción y liquidar el proyecto, ya que se obtiene un resultado positivo al realizar el abandono. Calculando el pay off se observa lo mencionado:

$$\begin{aligned}
 \text{ValorVenta} &= -11,151.26 + 14,672.71 = 3,521.45 \Rightarrow \text{PayOff} = \max(0; \text{ValorVenta}) \\
 &= \max(0; 3,521.45) = \$3,521.45 \dots (\text{Ec. 124})
 \end{aligned}$$

Cabe destacar que el caso analizado en esta sección permitiría realizar el abandono solamente al finalizar el primer año, y por ello el valor de la Opción coincide con el resultado por ejercicio en dicho momento.

### 5.2.2 Abandonar en cinco períodos

La inversión con un VAN de \$ 14,672.71. El VAN puede variar año a año dependiendo de distintos factores. El mismo puede aumentar en un 25% o disminuir en un 20%. Es decir, en el segundo año, existen dos escenarios:

- Uno favorable, en el que las inversiones tienen un Valor Actual Neto de:  
 $\$ 14,672.71 \times (1 + 25\%) = 18,340.88\dots$  (Ec. 125)
- Y otro desfavorable, en el que el Valor Actual Neto de la inversión disminuye a:  
 $\$ 14,672.71 \times (1 - 20\%) = 11,738.17\dots$  (Ec. 126)

De la misma manera se calculan los siguientes valores, armándose el siguiente árbol binomial.

Subyacente					
momento (años)					
0	1	2	3	4	5
				\$ 35,822.05	\$ 44,777.56
		\$ 22,926.11	\$ 28,657.64	\$ 22,926.11	\$ 28,657.64
	\$ 18,340.89		\$ 18,340.89		\$ 18,340.89
\$ 14,672.71	\$ 11,738.17	\$ 14,672.71	\$ 11,738.17	\$ 14,672.71	\$ 11,738.17
		\$ 9,390.53	\$ 7,512.43	\$ 9,390.53	\$ 7,512.43
				\$ 6,009.94	\$ 4,807.95

**Figura 5.6 Árbol binomial valores subyacentes (Bacchini, 2008)**

Si el inversionista quiere evaluar la posibilidad de abandonar el proyecto dentro de los primeros 5 años de vida del mismo. Se estima que por la venta de las instalaciones y la reasignación de los recursos que se utilizan en el proyecto se puede lograr un ingreso de \$11,738.17. Éste es el precio de Ejercicio de la Opción de Abandono. Por cuestiones operativas, el proyecto se puede abandonar sólo al final de cada año.

Si se supone que la tasa de interés efectiva anual libre de riesgo es del 5%, se puede realizar la valuación de la Opción utilizando el aplicativo Abandonar.

DATOS (a Ingresar por el usuario)						
Tiempo al vencimiento (años)	Precios del Activo			Precio de Ejercicio	Tasa de interés	Tasa de Pérdidas
	Inicial	factor alza	factor baja			
5	\$ 14,672.71	1.25	0.800	\$ 133,480.92	4.00%	5.00%

Resultados		
q	1-q	c
0.5333333333	0.4666666667	\$ 118,808.21

paso n°	0	1	2	3	4	5
t (años)	0	1	2	3	4	5

					\$ 29,177.28	\$ 34,648.02
			\$ 24,570.34	\$ 104,303.64	\$ 98,832.90	\$ 22,174.73
		\$ 20,690.81	\$ 108,910.58	\$ 18,673.46	\$ 111,306.19	\$ 11,306.19
	\$ 17,423.84	\$ 112,790.11	\$ 15,725.02	\$ 114,807.46	\$ 14,191.83	\$ 14,191.83
\$ 14,672.71	\$ 116,057.08	\$ 13,242.12	\$ 117,755.90	\$ 11,951.01	\$ 119,289.09	\$ 119,289.09
\$ 118,808.21	\$ 11,151.26	\$ 120,238.80	\$ 10,064.01	\$ 121,529.91	\$ 9,082.77	\$ 9,082.77
	\$ 122,329.68	\$ 8,474.96	\$ 123,416.91	\$ 7,648.65	\$ 124,398.15	\$ 124,398.15
		\$ 125,005.96	\$ 6,440.97	\$ 125,832.27	\$ 5,812.97	\$ 5,812.97
			\$ 127,039.95	\$ 4,895.14	\$ 127,667.95	\$ 127,667.95
				\$ 128,585.78	\$ 3,720.30	\$ 3,720.30
					\$ 129,760.62	\$ 129,760.62

**Figura 5.7 Abandonar en cinco periodos (Bacchini, 2008)**

El valor de la Opción de Abandono es de \$118,808.21. Este valor sumado al VAN de la inversión, permite obtener el valor total de la inversión, que es de \$133,480.92. La flexibilidad que le brinda a la empresa la posibilidad de abandonar el proyecto agrega el valor al proyecto ya que no sólo se posee el proyecto en sí, sino que además se tiene una Opción de Abandonar el proyecto.

En la figura 5.7 se observan sombreados los escenarios en los cuales resulta conveniente realizar el abandono, debido a que la continuidad tiene un valor inferior. En el momento inicial, claramente no conviene continuar, ya que el VAN es \$14,672.71 y por la venta se obtiene un ingreso de \$11,738.17.

En el primer momento que resulta conveniente abandonar, es luego de tres años, en caso de que la evolución haya sido desfavorable en cada uno de los dos primeros años, siendo el VAN de \$ 6,440.97 En ese escenario, el resultado por ejercicio es la diferencia entre el ingreso que se obtiene al liquidar el proyecto y el VAN que se resigna debido al abandono:

$$11,151.26 - 113,854.7 = \$125,005.96... \text{ (Ec. 127)}$$

Teniendo en cuenta los dos posibles escenarios al siguiente año (que el VAN suba a \$8,474.96 o baje a \$4,895.14) y los correspondientes valores de la Opción (\$125,832.27 y \$128,585.78, respectivamente), mantener la Opción "viva" sin liquidar al proyecto y el VAN que se resigna debido al abandono:

$$\frac{(125,832.27 \times \frac{8}{15} + 128,585.78 \times \frac{7}{15})}{1.05} = \$ 121,064.03... \text{ (Ec. 128)}$$

De esta manera, al resultar el valor del ejercicio de la opción superior al valor de mantenerla viva, es conveniente abandonar el proyecto. Un análisis similar puede realizarse en los restantes escenarios en los cuales resulta conveniente ejercer.

A continuación, se ilustran los árboles correspondientes al valor de la Opción “viva” y al valor por ejercicio apareando estos dos árboles y la imagen anterior, se puede observar que en cada escenario donde el valor por ejercicio supera el valor de la Opción “viva” resulta conveniente abandonar el proyecto (celdas sombreadas en el árbol de la imagen anterior).

Finalmente, en la imagen siguiente se observa que el valor de la Opción en el último momento coincide con su resultado por ejercicio.

<b>Resultado por ejercicio</b>				
				\$ 98,832.90
			\$ 104,303.64	
		\$ 108,910.58		\$ 111,306.19
	\$ 112,790.11		\$ 114,807.46	
\$ 116,057.08		\$ 117,755.90		\$ 119,289.09
\$ 118,808.21	\$ 120,238.80		\$ 121,529.91	
	\$ 122,329.66	\$ 123,416.91		\$ 124,398.15
		\$ 125,005.96	\$ 125,832.27	
			\$ 127,039.95	\$ 127,667.95
			\$ 128,585.78	
				\$ 129,760.62

<b>Valor de la Opción "Viva"</b>				
				\$ 98,832.90
			\$ 100,628.62	
		\$ 105,005.21		\$ 111,306.19
	\$ 108,690.77		\$ 110,607.25	
\$ 111,794.39		\$ 113,408.27		\$ 119,289.09
\$ 114,407.96	\$ 115,767.02		\$ 116,993.58	
	\$ 117,753.34	\$ 118,786.23		\$ 124,398.15
		\$ 120,295.83	\$ 121,080.82	
			\$ 122,228.12	\$ 127,667.95
			\$ 123,696.66	
				\$ 129,760.62

**Figura 5.8** Árbol binomial de resultado por ejercicio y valor de la opción "viva" (Bacchini, 2008)

### 5.3 Expandir la Inversión

Una de las ventajas que puede presentar una inversión en cuanto a flexibilidad, es la posibilidad de expandirla o reducirla, de acuerdo a las situaciones del mercado y la economía que enfrenta la inversión.

En algunos casos, las inversiones pueden tener un desempeño mejor del esperado y, por lo tanto, es recomendable una ampliación de la inversión, para obtener un mayor beneficio. Sin embargo, existen situaciones en las que las inversiones tienen un rendimiento por debajo del esperado, en cuyo caso es preferible reducir la inversión, sin abandonar totalmente el proyecto, de manera de reducir las pérdidas. Estas posibilidades de expansión y contracción tienen un valor, que incrementa el valor de la inversión.

En esta sección se analizará la Opción de Expandir, mientras que la Opción de Reducir un proyecto se analizará en la siguiente. La opción de Expandir una inversión es similar a una opción de compra americana, donde el

valor del activo subyacente está dado por el Valor Actual Neto de la inversión, previo a la ampliación, mientras que el precio del ejercicio es el costo de dicha expansión. Es decir, el inversionista tiene derecho de adquirir un activo (el flujo de fondos que surge de la expansión de la inversión), por un período determinado y por el cual va a pagar un precio predeterminado (el costo de la expansión).

Sin embargo, a diferencia de las opciones financieras estándares, en el caso de una Opción de Expansión, el pay off se ve levemente modificado. En este caso, la empresa paga el precio de ejercicio (el costo de la ampliación) y lo que recibe es un aumento en el valor de los flujos de fondos futuros. Por lo tanto, podemos escribir el payoff de una Opción de Expansión, en la fecha de vencimiento de la misma, de la siguiente manera:

$$\text{PayOff} = \max(0; FFExpansion_T - \text{CostoExpansion}) \dots \text{(Ec. 129)}$$

donde  $FFExpansion_T$  es el valor actual de los flujos futuros que se obtendrían por la expansión, calculado en el momento en que expira la opción, y CostoExpansion es la inversión que debe realizarse para ampliar el proyecto.

Aquí, se supondrá que la expansión incrementa en un porcentaje determinado el Valor Actual Neto del Proyecto, por lo cual podemos expresar:

$$FFExpansion_T = k \times VAN_T \dots \text{(Ec. 130)}$$

donde k es el porcentaje en que se incrementa el VAN calculado en el momento T. De esta manera, se puede expresar el pay off de la siguiente manera:

$$\text{PayOff} = \max(0; k \times VAN_T - \text{CostoExpansion}) \dots \text{(Ec. 131)}$$

Luego, una vez que se poseen los Pay Off al vencimiento, al igual que en las secciones precedentes, se utiliza la inducción hacia atrás para valuar opciones mediante árboles binomiales. Con esta técnica se calculan los valores de la Opción en los nodos anteriores, y considerando que la expansión puede concretarse en cualquier período (la opción es americana), el valor en cada escenario será el mayor entre el resultado por ejercicio y el valor de la opción "viva". Es decir, que en cada nodo, el valor de la Opción de Expansión será el mayor entre:

$$\text{Resultado por ejercicio en } t = k \times VAN_t - \text{CostoExpansion} \dots \text{(Ec. 132)}$$

$$\text{Valor de la opción "viva"} = \frac{V_u \times q + V_d \times (1 - q)}{(1 + r)^{\Delta t}} \dots \text{(Ec. 133)}$$

donde r es la tasa de interés efectiva anual libre de riesgo,  $\Delta t$  es la longitud de cada período,  $V_u$  y  $V_d$  son los valores de la opción en los nodos adyacentes, en caso de que el VAN aumente o disminuya, respectivamente, y q es la probabilidad neutral a riesgo de que el VAN aumente.

El primer valor corresponde a ejercer la opción, es decir, concretar la ampliación de la inversión, mientras que el segundo es el valor de mantener la opción, es decir, no realizar la expansión. El inversionista va a ampliar la inversión en el momento en que el valor que genera la expansión del proyecto sea mayor al de posponer la expansión (es decir, el valor de expandir luego). (Bacchini, 2008)

### 5.3.1 Expandir en un período

El proyecto tiene un valor actual neto de \$14,672.71. Sin embargo, ante la incertidumbre que existe en el contexto del mercado de la inversión que se está por realizar, el valor anterior es simplemente un valor esperado, y se estima que el VAN se podrá conocer con mayor certeza al finalizar el corriente año.

Si la evolución del mercado es favorable para el proyecto, el VAN se incrementará en un 25%, mientras que en caso de que el mercado no responda favorablemente al proyecto, el VAN se reducirá en un 20%.

En base a esta información, se tienen dos posibles valores del VAN en el momento 1 (al finalizar el año). En el caso favorable, el Valor Actual Neto será:

$$VAN_u = 14,672.71 \times (1 + 25\%) = \$ 18,340.89 \dots (\text{Ec. 134})$$

Por otra parte, en el escenario desfavorable, el proyecto tendrá un VAN de :

$$VAN_d = 14,672.71 \times (1 - 20\%) = \$11,738.17 \dots (\text{Ec. 135})$$

Lógicamente, el proyecto debe realizarse, ya que en ambos situaciones el VAN es positivo.

Sin embargo, existe otra decisión a tomar, relacionada con la dimensión del proyecto. Por las características que presenta la inversión, existe la posibilidad de realizar una ampliación en la escala de un 15 % ( es decir, que si se decide expandir, se obtendrá un incremento del VAN por dicho porcentaje). El costo de llevar a cabo la expansión es de \$133,480.92.

$$ValorExpansion_u = k \times VAN_u - CostoExpansion = 15\% \times 18,340.89 - 133,480.92 = -\$130,729.78$$

$$PayOff_u = \max(0; -133,480.92) = \$0 \dots (\text{Ec. 136})$$

Por otra parte, el pay off en el escenario desfavorable sería:

$$ValorExpansion_d = k \times VAN_d - CostoExpansion = 15\% \times 11,738.17 - 133,480.92 = -\$131,720.19$$

$$PayOff_d = \max(0; -131,720.19) = \$0 \dots (\text{Ec. 137})$$

En la siguiente figura se ilustra la resolución suponiendo una tasa de interés libre de riesgo del 5% efectivo anual. En la figura se encuentra marcado el valor de la Opción de Expandir, el cual asciende a \$0. Asimismo, se observa que el resultado por ejercicio inmediato (expandir directamente al inicio) tiene un valor de \$0.

Al ser el valor de la opción “viva” (esperar y decidir sobre la expansión al finalizar el año) superior al valor por ejercicio (expandir inmediatamente), resulta conveniente mantener la Opción y expandir, en caso de que el mercado evolucione favorablemente.



Como se supuso que la expansión solamente puede realizarse dentro del primer año la Opción vence en un año y, por ello, el resultado por ejercicio y el valor de la opción coinciden en dicho momento.

Opción de Expandir: Un período						
DATOS (a Ingresar por el usuario)						
Tiempo al vencimiento (años)	Precios del Activo			Precio de Ejercicio	tasa de interés	Expansión
	Inicial	factor alza	factor baja			
1	\$ 14,672.71	1.25	0.80	\$ 133,480.92	4.00%	15%

RESULTADOS (Valuación Neutral)					
Precio del Subyacente			Valor de la Opción		
momento 0		momento 1	momento 0		momento 1
		\$ 18,340.89	Valor del Call		\$ 0.00
\$ 14,672.71			\$ 0.00		
		\$ 11,738.17			\$ 0.00

Probabilidades Neutrales		
"q"		"1-q"
0.5333		0.4667

Resultado Por ejercicio		
momento 0		momento 1
		\$ 0.00
\$ 0.00		
		\$ 0.00

Figura 5.9 Expandir en un periodo (Bacchini, 2008)

### 5.3.2 Expandirán cinco períodos

Si se realiza una inversión en un proyecto cuyo VAN es de 14,672.71. Este VAN varía período a período, si el inversionista quiere analizar las posibilidades de expandir dicha inversión, según los distintos escenarios que están analizando. Cada 6 meses se realizará una revisión del proyecto para determinar si conviene expandir la escala de la inversión o si se mantiene igual.

Se estima que cada 6 meses, de acuerdo a la evolución de los factores económicos que afectan al proyecto, el Valor Actual Neto puede aumentar en un 10% o disminuir en un 9,0909%. Es decir, luego de los primeros 6 meses se presentan dos escenarios:

- Uno favorable, en el cual el valor de la inversión aumenta y el VAN es  $14,672.71 \times (1 + 10\%) = 16,139.98\dots$  (Ec. 138)
- Y otro desfavorable, en el cual el valor de la inversión disminuye y el VAN es  $14,672.71 \times (1 - 9,09\%) = 13,338.83\dots$  (Ec. 139)

Del mismo modo, se calculan los siguientes valores, armándose el siguiente árbol binomial.

Subyacente					
momento (años)					
0	1/2	1	1 1/2	2	2 1/2
					\$ 23,630.55
				\$ 21,482.31	
			\$ 19,529.38		\$ 19,529.38
		\$ 17,753.98		\$ 17,753.98	
	\$ 16,139.98		\$ 16,139.98		\$ 16,139.98
\$ 14,672.71		\$ 14,672.71		\$ 14,672.71	
	\$ 13,338.83		\$ 13,338.83		\$ 13,338.83
		\$ 12,126.21		\$ 12,126.21	
			\$ 11,023.82		\$ 11,023.82
				\$ 10,021.66	
					\$ 9,110.60

Figura 5.10 Árbol binomial subyacente (Bacchini, 2008)

El costo de la expansión es de \$133,480.92 .si se considera que la inversión se puede expandir dentro de los 2 años y medio de realizada la misma. Considerando una tasa de interés anual libre de riesgo del 5.13% (equivalente a un 5% con capitalización continua), se puede calcular el valor de la opción de Expansión a partir del CD. Del libro de evaluación de inversiones con Opciones Reales.

## Opción de Expandir

DATOS (a Ingresar por el usuario)						
Tiempo al vencimiento (años)	Precios del Activo			Precio de Ejercicio	Tasa de interés	Expansión
	Inicial	factor alza	factor baja			
2 1/2	\$ 14,672.71	1.10	0.909	\$ 133,480.92	4.08%	10.00%

Resultados		
q	1-q	c
0.581948456	0.418051544	\$ -

paso n°	0	1	2	3	4	5
t (años)	0	1/2	1	1 1/2	2	2 1/2

						\$ 23,630.55
					\$ 21,482.31	\$ -
			\$ 19,529.38	\$ -	\$ 17,753.98	\$ 19,529.38
		\$ 17,753.98	\$ -	\$ 17,753.98	\$ -	\$ -
	\$ 16,139.98	\$ -	\$ 16,139.98	\$ -	\$ 16,139.98	\$ -
\$ 14,672.71	\$ -	\$ 14,672.71	\$ -	\$ 14,672.71	\$ -	\$ -
\$ -	\$ 13,338.83	\$ -	\$ 13,338.83	\$ -	\$ 13,338.83	\$ -
	\$ -	\$ 12,126.21	\$ -	\$ 12,126.21	\$ -	\$ -
		\$ -	\$ 11,023.82	\$ -	\$ 11,023.82	\$ -
			\$ -	\$ 10,021.66	\$ -	\$ -
				\$ -	\$ 9,110.60	\$ -
					\$ -	\$ -

Figura 5.11 Expandir en cinco periodos (Bacchini, 2008)

En el ejemplo el valor de la opción de expandir la inversión es de \$0. Analizando el árbol binomial de la imagen anterior se puede determinar en qué momento es óptimo realizar la ampliación (las celdas sombreadas en el árbol). El momento óptimo para la expansión es al vencimiento de la opción, es decir, al final del quinto semestre, y solamente en los dos mejores escenarios. Ya que ninguna tiene un valor no es conveniente expandir.

Si el VAN de la inversión es \$238,602.90, el resultado por ejercicio de la opción (es decir, el valor de la expansión) es:

$$VAN_t \times k - CostoExpansion = 23,630.55 \times 10\% - 133,480.92 = \$-131,117.86 \dots (Ec. 140)$$

Por otra parte, si el VAN es \$197,192.48, el valor de la expansión sería de:

$$VAN_t \times k - CostoExpansion = 19,529.38 \times 10\% - 133,480.92 = \$-131,527.98 \dots (Ec. 141)$$

En los otros cuatro escenarios del momento 5 no se realiza la expansión, ya que la misma produciría una pérdida para el inversionista. En la siguiente imagen, se comparan los árboles del valor de la opción "viva" y el valor del ejercicio de la misma (valor de la expansión).

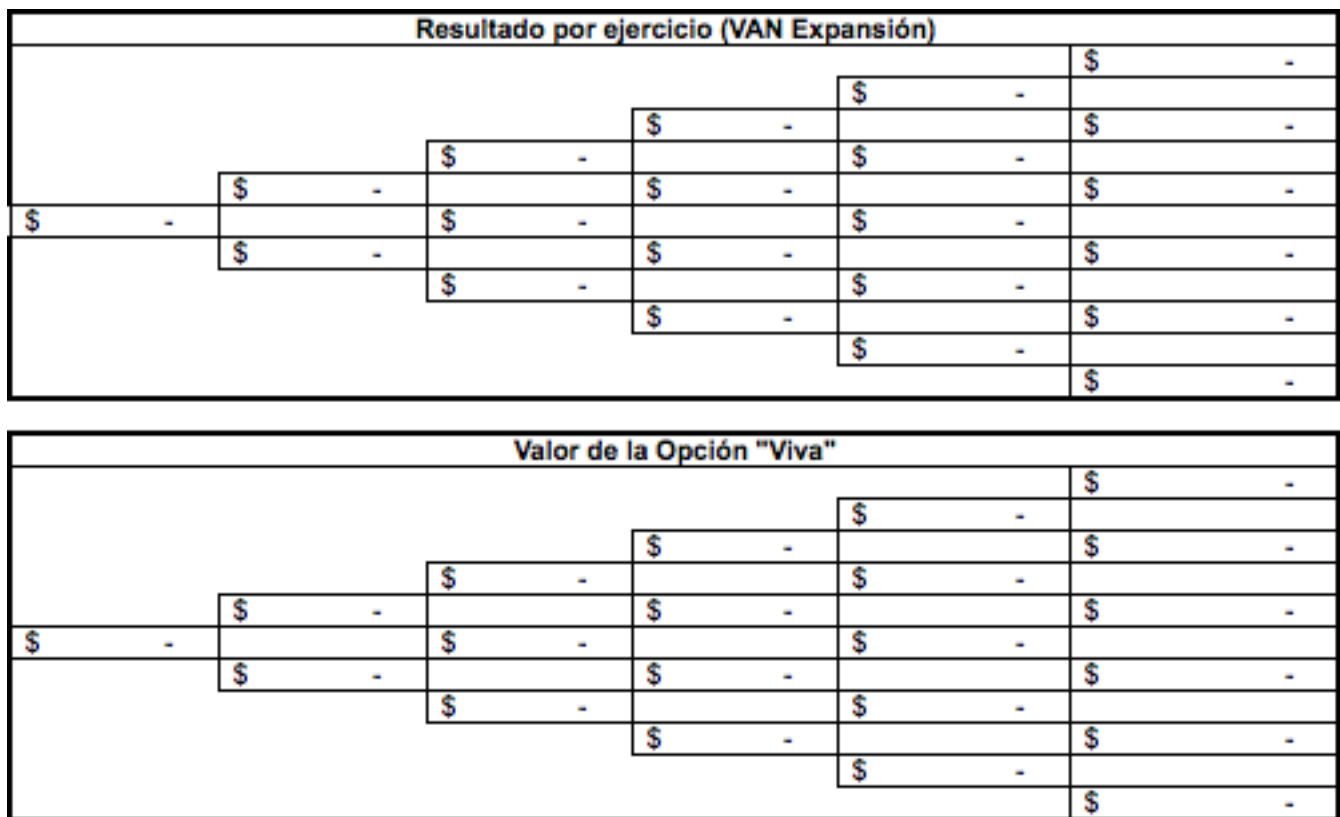


Figura 5.12 Árbol binomial de resultado por ejercicio y valor de la opción "viva" (Bacchini, 2008)

5.4 Reducir la Inversión

En la sección anterior, se ha estudiado la posibilidad de expandir la inversión si la evolución del contexto era favorable al proyecto. Sin embargo, si las cosas no van bien, hay proyectos que brindan la posibilidad de realizar una reducción en la escala, sin abandonarlo totalmente. Es decir, que existen inversiones que poseen implícita la opción de Reducir el proyecto.

Esta Opción es similar a una opción de venta americana, donde el valor del activo subyacente está dado por el Valor Actual Neto de la inversión previo a la contracción del proyecto, mientras que el precio de ejercicio es el valor que se obtiene por la venta (o reasignación) de las instalaciones que se dejan ociosas luego de la reducción. En este caso, un inversionista tiene el derecho de vender un activo (el flujo de fondos que surge de la contracción de la inversión), por un período determinado y por el cual tiene un ingreso predeterminado (el valor de venta de las instalaciones).

Sin embargo, a diferencia de las opciones financieras estándares, el pay off se ve levemente modificado en el caso de la Opción de Reducción. En este caso el inversionista recibe el precio de ejercicio (el valor de los activos que se venden o reasignan) y lo que resigna es una parte del valor de los flujos de fondos futuros. Por lo tanto, podemos escribir el payoff de esta Opción Real, en la fecha de vencimiento de la misma de la siguiente manera.

$$PayOff = \max(0; ValorVenta - FFPerdidos_T) \dots \text{(Ec. 142)}$$

donde  $FFPerdidos_T$  es el valor actual de los flujos futuros que se resignarán debido a la reducción del proyecto, calculado en el momento T en que expira la opción, y ValorVenta es el monto que se recibe al liquidar una parte del proyecto, o el valor que se obtiene por la reasignación de los recursos.

Al igual que en la sección previa, se utilizará el supuesto de que al reducir el proyecto se reduce en un porcentaje determinado el ValorActual Neto, por lo cual podemos expresar:

$$FFPerdidos_T = h \times VAN_T \dots \text{(Ec. 143)}$$

donde h es el porcentaje en que se reduce el VAN calculado en el momento T. El pay off puede re expresarse:

$$PayOff = \max(0; ValorVenta - h \times VAN_T) \dots \text{(Ec. 144)}$$

Para valuar la opción, se utiliza la inducción hacia atrás mediante árboles binomiales, empezando el proceso con los pay off calculados al momento T.

Teniendo en cuenta que la opción es americana, el valor en cada escenario será el mayor entre el resultado por ejercicio y el valor de la opción "viva". Es decir que en cada nodo se deben comparar los siguientes valores, y el valor de la opción será el mayor de ambos:

$$Resultado \text{ por ejercicio en } t = ValorVenta - h \times VAN_t \dots \text{(Ec. 145)}$$

$$Valor \text{ de la opción viva} = \frac{V_u \times q + V_d \times (1 - q)}{(1 + r)^{\Delta t}} \dots \text{(Ec. 146)}$$

donde, como siempre, r es la tasa de interés efectiva anual libre de riesgo,  $\Delta t$  es la longitud de cada período,  $V_u$  y  $V_d$  son los valores de la opción en los nodos adyacentes, en caso de que el valor de que el VAN aumente o disminuya, respectivamente, y q es la probabilidad neutral a riesgo de que el VAN aumente.

El primer valor es el que se obtiene por ejercer la opción, es decir, reducir la inversión, mientras que el segundo monto representa el valor de mantener la opción, es decir, no realizar la reducción manteniendo el proyecto con la misma escala. El inversionista reducirá la inversión cuando el valor que genera dicha decisión supera el valor de posponerla (es decir, el valor de reducir luego). (Bacchini, 2008)

#### 5.4.1 Reducir en un periodo

Nuestro proyecto posee una inversión que tiene un Valor Actual Neto de \$14,672.71. Dicho momento se corresponde al valor esperado de los flujos futuros menos el costo de implementar el proyecto.

Al ser los flujos futuros aleatorios, también lo es el VAN. En base a las estimaciones, se supone que al cabo de seis meses se revelarán algunas cuestiones del mercado y permitirán conocer el VAN con mayor certeza. Si la reacción del mercado es favorable, el VAN será de \$17,607.25, mientras que en caso contrario será de solamente \$8,803.63

Los montos expresados en el párrafo anterior pueden interpretarse como un aumento de un 20% del VAN, o una disminución del 40%, ya que:

$$VAN_u = 14,672.71 \times (1 + 20\%) = \$17,607.25 \dots (\text{Ec. 147}) \quad VAN_d = 14,672.71 \times (1 - 40\%) = \$8,803.63 \dots (\text{Ec. 148})$$

El proyecto posee la Opción de Reducir la escala en un 50 %, vendiendo la mitad de los activos destinados al mismo por un monto de \$133,480.92. al reducir en un 50 % el proyecto, se supone que el VAN se verá disminuido en dicho porcentaje.

Si se reduce inmediatamente la escala, no se obtiene beneficio alguno, ya que se obtienen \$7,336.35 por la venta, pero se resigna el 50% del VAN, que asciende a \$14,672.71. el resultado del ejercicio inmediato de la opción es nulo:

$$PayOff = 7,336.35 - 50\%(14,672.71) = \$0 \dots (\text{Ec. 149})$$

Por otra parte, si se espera un período de seis meses pueden obtenerse dos resultados.

Si la evolución es desfavorable para el proyecto, la reducción genera un ingreso de \$133,480.92 mientras que se resigna el 50% del VAN, que en este escenario es \$ 8,803.63. De este modo el pay off de la opción es:

$$ValorContraccion_d = ValorVenta - h \times VAN_d = 133,480.92 - (50\% \times 8,803.63) = \$129,079.10$$

$$PayOff_d = \max(0; 129,079.10) = \$129,079.10 \dots (\text{Ec. 150})$$

En este caso resulta conveniente la reducción ya que el pay off es positivo.

Por otro lado, si la evolución es favorable, se recibirán los \$133,480.92 y se resignará el 50% del VAN en este escenario, el cual asciende a \$17,607.25 . El pay off sería:

$$ValorContraccion_u = ValorVenta - h \times VAN_u = 133,480.92 - (50\% \times 17,607.25) = \$124,186.30$$

$$PayOff_u = \max(0; 124,186.30) = \$124,186.30... \text{ (Ec. 151)}$$

Como la contracción genera un resultado negativo, el pay off de la opción es nulo, ya que no conviene ejercerla. Para calcular el valor de la Opción “viva” al momento inicial se utiliza el aplicativo Reducir. En la siguiente figura se observa la resolución, suponiendo una tasa de interés efectiva libre de riesgo del 5%.

Opción de Reducir: Un período						
DATOS (a Ingresar por el usuario)						
Tiempo al vencimiento (años)	Precios del Activo			Precio de Ejercicio	tasa de interés	Contracción
	Inicial	factor alza	factor baja			
1/2	\$ 14,672.71	1.20	0.60	\$ 133,480.92	3.00%	50%

RESULTADOS (Valuación Neutral)					
Precio del Subyacente			Valor de la Opción		
momento 0	momento 1		momento 0	momento 1	
		\$ 17,607.25			\$ 124,677.29
\$ 14,672.71			<b>Valor del Put</b>		
		\$ 8,803.63	\$ 124,186.30		\$ 129,079.11
					\$ 129,079.11

Probabilidades Neutrales		
"q"		"1-q"
0.6915		0.3085

Resultado Por ejercicio		
momento 0	momento 1	
		\$ 124,677.29
\$ 126,144.57		
		\$ 129,079.11

Figura 5.13 Reducir en un periodo (Bacchini, 2008)

Puede observarse que el valor de la Opción de Reducir es de \$124,186.30 Siendo el valor del ejercicio inmediato nulo, resulta conveniente mantener la opción y esperar 6 meses para decidir sobre el cambio de escala, ya que el valor de la opción “viva” es positivo.

#### 5.4.2 Reducir en cinco períodos

Nuevamente, tenemos una inversión con un VAN de \$14,672.71, se revisará cada 6 meses la inversión con la intención de reducir la misma. Por la venta de las instalaciones que queden ociosas luego de la contracción, la inversión puede obtener \$133,480.92.

Los escenarios que considera la inversión son los mismos que antes. El VAN de la inversión puede aumentar en un 10 % o disminuir un 9,090909% cada 6 meses, la tasa de interés anual libre de riesgo es del 5,13% efectivo anual (equivalente a un 5 % con capitalización continua) y la contracción se puede realizar dentro de los 2 años y medio de realizada la inversión.

Se estima que la reducción de la escala de la inversión tendrá como consecuencia una pérdida del 40 % del VAN calculado en el momento que se decida reducir el proyecto. Es decir, que, de acuerdo a lo expuesto en el inicio de esta sección,  $h=0,40$ .

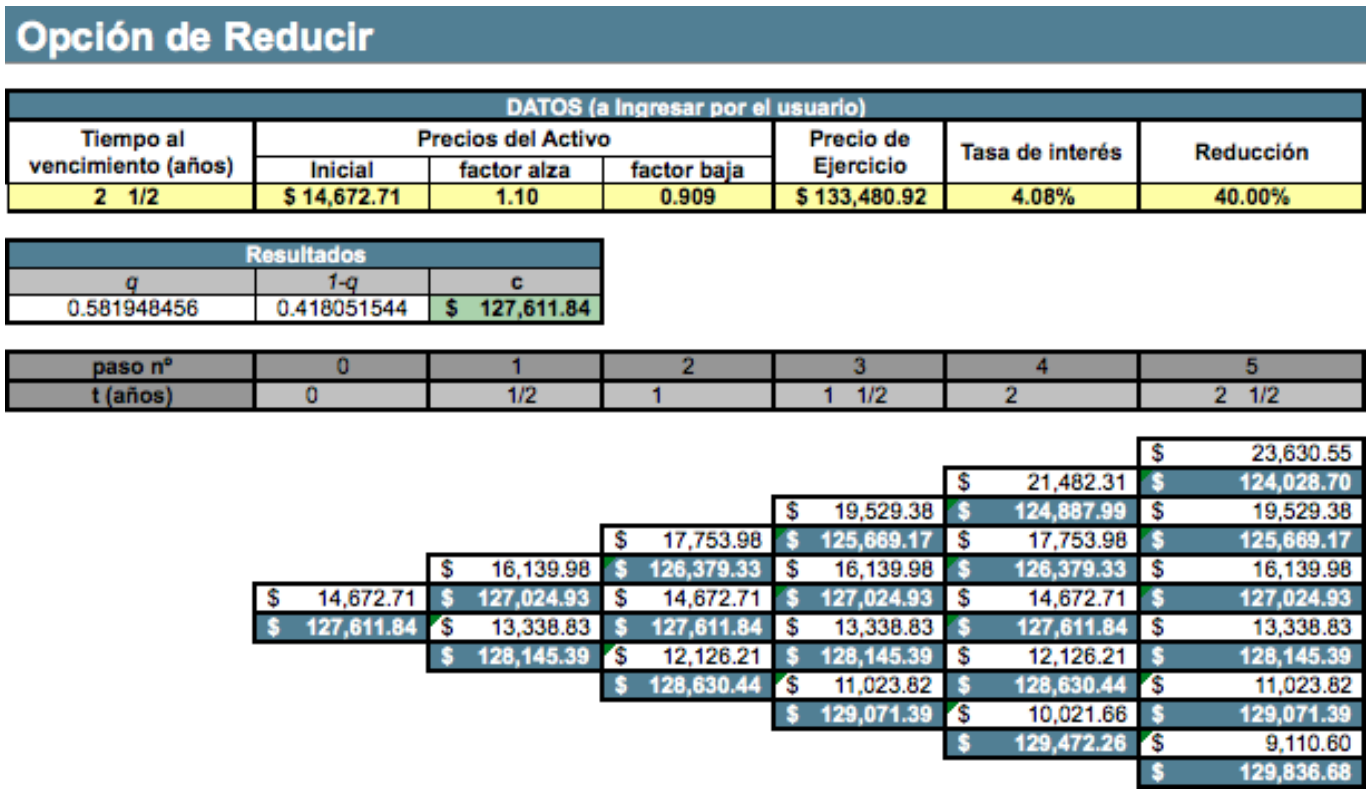


Figura 5.14 Reducir en cinco periodos (Bacchini, 2008)

En la figura 5.14 se observa que el valor de la opción de reducir la inversión es de \$127,611.84, el cual incrementa el valor del proyecto. Considerando la posibilidad de reducir la inversión realizando la venta de una parte de los activos destinados a la misma, el valor del proyecto se incrementa a:

$$\text{ValorProyecto} = \text{VAN} + \text{ValorOpcion} = 14,672.71 + 127,611.84 = 142,284.55 \dots \text{(Ec. 152)}$$

A su vez, en la imagen de la resolución en Microsoft Excel se pueden apreciar los momentos y escenarios en los cuales resulta óptimo realizar la contracción del proyecto, los cuales corresponden a las celdas sombreadas en el árbol binomial.

Resulta óptima la contracción de la inversión en el peor escenario luego de 4 periodos, desde el periodo 0, donde el VAN es de \$10,021.66, resultando el ejercicio en un ingreso de:

$$-\text{VAN}_t \times h + \text{IngresoContraccion} = -10,021.66 \times 40\% + 133480.92 = \$129,472.26 \dots \text{(Ec. 153)}$$

Mientras que el valor de la Opción “viva”(es decir, el valor de esperar un período más para decidir la contracción) es de:

$$\text{Valor de la opción "viva"} = \frac{129,071.39 \times 0.58195 + 129,836.68 \times 0.41805}{(1+4.08\%)^{1/2}} = \$126,830.59... \text{ (Ec. 154)}$$

al ser mayor el valor por ejercicio, es óptimo ejercer la opción en este momento (dado el peor escenario) y realizar la contracción del proyecto.

En la siguiente imagen, se compara el valor por ejercicio en cada nodo (el ingreso que genera la contracción) con el valor de mantener la opción "viva". Se observa que los nodos en los cuales el valor por ejercicio supera o es igual al valor de mantener la opción, coinciden con los nodos sombreados en la imagen anterior, correspondiente a la resolución en Microsoft Excel.

<b>Resultado por ejercicio (VAN Reducción)</b>				
				\$ 124,028.70
			\$ 124,887.99	
		\$ 125,669.17		\$ 125,669.17
	\$ 126,379.33		\$ 126,379.33	
\$ 127,024.93		\$ 127,024.93		\$ 127,024.93
\$ 127,611.84		\$ 127,611.84		\$ 127,611.84
	\$ 128,145.39		\$ 128,145.39	\$ 128,145.39
	\$ 128,630.44		\$ 128,630.44	
		\$ 129,071.39		\$ 129,071.39
			\$ 129,472.26	
				\$ 129,836.68

<b>Valor de la Opción "Viva"</b>				
				\$ 124,028.70
			\$ 122,246.33	
		\$ 123,027.50		\$ 125,669.17
	\$ 123,737.66		\$ 123,737.66	
\$ 124,383.26		\$ 124,383.26		\$ 127,024.93
\$ 124,970.17		\$ 124,970.17		\$ 128,145.39
	\$ 125,503.72		\$ 125,503.72	\$ 128,145.39
	\$ 125,988.77		\$ 125,988.77	
		\$ 126,429.72		\$ 129,071.39
			\$ 126,830.59	
				\$ 129,836.68

Figura 5.15 Árbol binomial de resultado por ejercicio y valor de la opción "viva" (Bacchini, 2008)

### 5.5 Análisis conjunto de Expansión o Reducción

En esta sección, y para cerrar el capítulo, se analizarán las dos opciones estudiadas en las secciones precedentes en conjunto. Es decir, se valorará la opción de expandir o reducir la misma inversión.

Esto es posible porque las opciones son excluyentes, es decir, si en un escenario se decide expandir el proyecto, no se va a reducir la inversión, y viceversa, si en un escenario se decide reducir la inversión, no se va a expandir la misma. Esto hace independientes las decisiones de expandir o reducir y posibilita la valuación de manera directa.



En este caso, el inversionista debe decidir en cada escenario entre tres posibles cursos de acción:

- a. Mantener la inversión con la misma escala con la que empezó
- b. Realizar una expansión de la inversión, o
- c. Reducir la escala del proyecto.

El hecho de que se deba decidir entre tres posibilidades complica un poco la estructura del pay off de la opción al vencimiento.

Si se expande, el inversionista paga el precio de ejercicio (el costo de la ampliación) recibe un aumento en el valor de los flujos de fondos futuros, lo cual se ve reflejado en un incremento en un porcentaje  $k$  del Valor Actual Neto en dicho momento:

$$\mathbf{ValorExpansion_T = k \times VAN_T - CostoExpansion} \dots (\text{Ec. 155})$$

Por otra parte, si se opta por reducir, se recibe el valor correspondiente a la venta(o reasignación) de una parte de las instalaciones y se resigna un porcentaje  $h$  del VAN:

$$\mathbf{ValorContraccion_T = ValorVenta_T - h \times VAN_T} \dots (\text{Ec. 156})$$

Al momento de vencimiento de la Opción, el pay off será el mayor entre los dos valores anteriores, siempre y cuando sean positivos. Es decir:

$$\begin{aligned} \mathbf{PayOff} &= \mathbf{max(0; ValorExpansion; ValorContraccion)} \\ &= \mathbf{max(0; k \times VAN_T - Costoexpansion; ValorVenta - h \times VAN_T)} \dots (\text{Ec. 157}) \end{aligned}$$

una vez que se poseen los valores del pay off al vencimiento, la historia es la misma de siempre. Mediante la inducción hacia atrás, se calcula el valor de la Opción en cada uno de los nodos anteriores. Por tratarse de una opción americana, debe compararse el valor de mantener la misma con los posibles valores por ejercicio. Es decir, que el valor de la Opción en cada nodo será el mayor entre:

$$\mathbf{Resultado por reducción en "t" = ValorVenta - h \times VAN_t} \dots (\text{Ec. 158})$$

$$\mathbf{Resultado por expansión en t = k \times VAN_t - CostoExpansión} \dots (\text{Ec. 159})$$

$$\mathbf{Valor de la opción "viva" = \frac{V_u \times q + V_d \times (1 - q)}{(1 + r)^{\Delta t}} \dots (\text{Ec. 160})}$$

donde, como siempre,  $r$  es la tasa de interés afectiva anual libre de riesgo,  $\Delta t$  es la longitud de cada período,  $V_u$  y  $V_d$  son los valores de la opción en los nodos adyacentes, en caso de que el VAN aumente o disminuya, respectivamente, y  $q$  es la probabilidad neutral a riesgo de que el VAN aumente.

Si se va a ampliar la inversión (ejercer la opción de expansión) en el momento en que el valor que genera la expansión sea mayor al de posponer la expansión (mantener las opciones "vivas") y al de reducir la inversión (ejercer la opción de contracción).

Por otra parte, se reducirá la inversión en el momento en que la ganancia que genera reducirla (ejercer la opción de reducción) sea mayor que la que se obtiene ampliando la inversión (ejercer la opción de expansión) o esperando la evolución del contexto para ampliar o reducir luego (mantener “viva” las opciones). (Bacchini, 2008)

- *Reducir y/o expandir en cinco períodos*

Ahora se desea valorar de manera conjunta la posibilidad de expandir o reducir la inversión de acuerdo a los distintos escenarios que se pueden presentar.

Como antes, el VAN de la inversión es \$14,672.71 y se revisará cada 6 meses la inversión con la intención de expandir o reducir la misma. El costo de la expansión del 10% es de \$162,968.993, mientras que por la venta de las instalaciones que quedan ociosas luego de la contracción del 40% se puede obtener \$133,480.92.

Nuevamente, se utilizará el mismo árbol binomial que en los dos ejemplos anteriores. El VAN de la inversión puede aumentar en un 10% o disminuir un 9,09% cada 6 meses, la tasa de interés efectiva anual libre de riesgo es del 5,13%(equivalente a un 4% con capitalización continua) y la expansión o la contracción se puede realizar dentro de los 2 años y medio de realizada la inversión.

En la imagen siguiente se observa la resolución del problema planteado aquí, la cual se encuentra en el CD del libro de Evaluación de Inversiones con Opciones Reales.

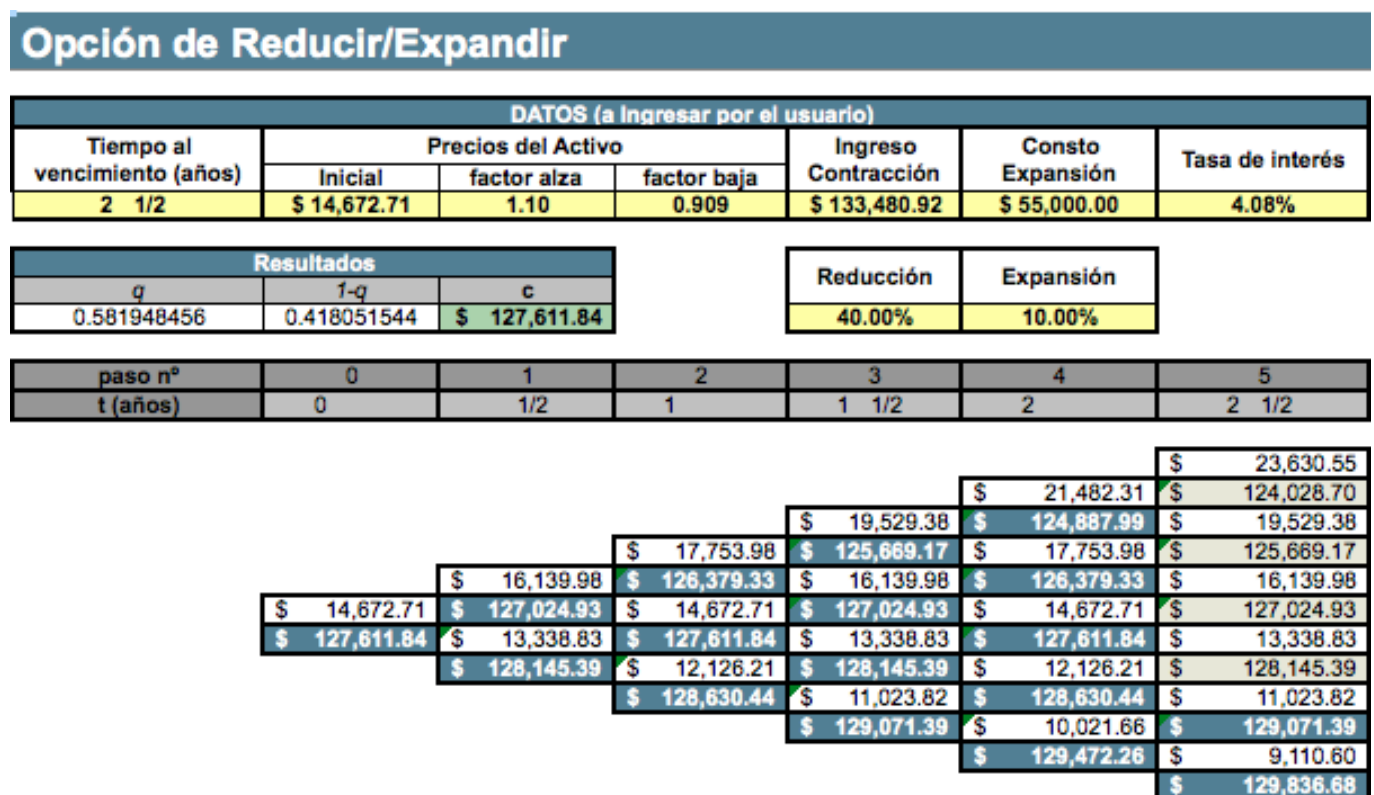


Figura 5.16 Opción de reducir / expandir (Bacchini, 2008)

En la figura 5.16 se observa que el valor de la opción es \$127,611.84. A su vez, se encuentra sombreado en el árbol los escenarios en los cuales conveniente expandir y reducir. En la parte superior del mismo, en color más oscuro, se remarcan los escenarios en los cuales es conveniente expandir el proyecto, mientras que en la parte inferior se observan marcados los escenarios en los que resulta conveniente reducir la escala del proyecto.

Es importante notar que las decisiones óptimas de inversión no varían en relación al análisis de las dos opciones realizado de manera independiente:

- Si se debería expandir la inversión en los dos mejores escenarios del momento 5, cuando el VAN es \$11,023.82 o \$9,110.60, obteniendo por la expansión un valor de \$129,071.39 o \$129,836.68 respectivamente.
- Se debería reducir la inversión en el, pero escenario después de 4 períodos, cuando el VAN es \$10,021.66 y por el ejercicio se obtiene \$129,472.26 o al vencimiento (momento5) en el segundo peor escenario, cuando el VAN es \$11 y por la reducción se consigue \$129,071.39.

Finalmente, cabe destacar que el valor de esta opción conjunta es simplemente la suma de los valores de la Opción de Expandir y Reducir, calculados anteriormente:

$$\mathbf{ValorExpansion/Contraccion = ValorExpansion + ValorContraccion = 127,611.84... (Ec. 161)}$$

Para finalizar, se exponen a continuación los árboles correspondientes al valor por contracción, por expansión y por mantener vivas las opciones. Se observa que las celdas negras de la imagen anterior correspondiente al archivo, se corresponden a los nodos en los cuales la expansión vale más o lo mismo que mantener la opción, mientras que las celdas sombreadas corresponden a los nodos en los que la reducción tiene un valor superior o igual a mantener la opción.

Resultado por Reducción				
				\$ 124,028.70
			\$ 124,887.99	
		\$ 125,669.17		\$ 125,669.17
	\$ 126,379.33		\$ 126,379.33	
\$ 127,024.93		\$ 127,024.93		\$ 127,024.93
\$ 127,611.84	\$ 127,611.84		\$ 127,611.84	
	\$ 128,145.39	\$ 128,145.39		\$ 128,145.39
		\$ 128,630.44	\$ 128,630.44	
			\$ 129,071.39	\$ 129,071.39
			\$ 129,472.26	
				\$ 129,836.68

Resultado por Expansión				
				\$ -
			\$ -	
		\$ -		\$ -
	\$ -	\$ -	\$ -	
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
		\$ -	\$ -	\$ -
			\$ -	\$ -
				\$ -

Valor de la Opción "Viva"				
				\$ 124,028.70
			\$ 122,246.33	
		\$ 123,027.50		\$ 125,669.17
	\$ 123,737.66		\$ 123,737.66	
\$ 124,383.26		\$ 124,383.26		\$ 127,024.93
\$ 124,970.17	\$ 124,970.17		\$ 124,970.17	
	\$ 125,503.72	\$ 125,503.72		\$ 128,145.39
		\$ 125,988.77	\$ 125,988.77	
			\$ 126,429.72	\$ 129,071.39
			\$ 126,830.59	
				\$ 129,836.68

Figura 5.17 Árbol binomial de resultado por reducción /expansión y valor de la opción "viva" (Bacchini, 2008)

## Capítulo 6 Conclusiones

El propósito final de este trabajo es conocer el valor agregado del proyecto, y para esto se analiza el valor que genera una opción real permitiendo incrementar la valuación de un proyecto de inversión en este caso un proyecto de energía a base de biomasa, las opciones reales agregan un valor a las inversiones.

Este valor agregado se puede ver de la siguiente manera. En primer lugar, se diferencia entre dos conceptos el valor actual neto. Se denomina Valor Actual Neto (VAN<sup>P</sup>), el valor actual de los flujos de fondos futuros de la inversión menos su costo. Asimismo, se denomina Valor Actual Neto activo (VAN<sup>A</sup>) al Valor Actual Neto pasivo más el valor que surge de las opciones reales que pueda contener el proyecto de inversión:

$$VAN^A = VAN^P + \text{valor de las opciones reales ... (Ec. 162)}$$

De esta manera, el valor de un proyecto de inversión se ve incrementado a partir del valor de las opciones reales.

Previamente se analizaron todas las opciones reales para este proyecto de inversión y se obtuvieron los valores de las opciones reales, en esta parte se busca el Valor Actual Neto activo de cada opción real ya que es este el valor final y cuenta ya incorporado con el valor de la opción real.

Se va a calcular el VAN<sup>A</sup> de las cinco variaciones de opciones reales, consideradas cada una con un periodo o con cinco periodos y se va a analizar cual es la mejor opción real aplicada es la que genera un mayor valor agregado al proyecto.

Para la opción de diferir una inversión se analizaron en un periodo, dando un resultado de \$0 y en cinco periodos \$0 estos son los valores de la opción real de diferir en un periodo o en cinco, con esto se busca el VAN<sup>A</sup> de cada periodo dando:

$$VAN^P = \$14,672.71$$

$$\text{valor de las opciones reales de diferir en un periodo} = \$0$$

$$\text{valor de las opciones reales de diferir en cinco periodos} = \$0$$

$$VAN^A = 14,672.71 + 0 = \$14,672.71 \dots \text{(Ec. 163)}$$

$$VAN^A = 14,672.71 + 0 = \$14,672.71 \dots \text{(Ec. 164)}$$

En esta opción se puede observar que el VAN<sup>P</sup> no se aumentó ya que no se genera un valor por la opción de diferir, en un periodo ó en cinco periodos rectificando que esta opción no es viable en ninguno de los dos casos.

La importancia de la opción real de diferir consiste en poder posponer la inversión durante un tiempo, lo que sirve para disminuir la incertidumbre sobre algún factor clave en el desarrollo del proyecto (por ejemplo, precios de insumos) o también para esperar que mejoren las condiciones del entorno en el cual se desarrolla el proyecto.

Para la opción de abandonar la inversión se analizaron en un periodo, dando un resultado de \$111,986.32, y en cinco periodos \$118,808.21 estos son los valores de la opción real de abandonar en un periodo o en cinco, con estos se busca el VAN<sup>A</sup> de cada periodo dando:

$$VAN^P = \$14,672.71$$

valor de las opciones reales de abandonar en un periodo = \$111,986.32

valor de las opciones reales de abandonar en cinco periodos = \$118,808.21

$$VAN^A = 14,672.71 + 111,986.32 = \$126,659.03 \dots (\text{Ec. 165})$$

$$VAN^A = 14,672.71 + 118,808.21 = \$133,480.92 \dots (\text{Ec. 166})$$

Si el proyecto se abandona en el primer año su valor agregado aumenta considerablemente, pero si el proyecto se abandona en cinco periodos su valor agregado es mayor ya que en el primer año si conviene abandonar aun con la inversión inicial pero se obtiene un mayor valor agregado al proyecto si se abandona en cinco periodos.

Para la opción de expandir la inversión se analizaron en un periodo, dando un resultado de \$0 y en cinco periodos \$0 estos son los valores de la opción real de expandir en un periodo o en cinco, con estos se busca el  $VAN^A$  de cada periodo dando:

$$VAN^P = \$14,672.71$$

valor de las opciones reales de expandir en un periodo = \$0

valor de las opciones reales de expandir en cinco periodos = \$0

$$VAN^A = 14,672.71 + 0 = \$14,672.71 \dots (\text{Ec. 167})$$

$$VAN^A = 14,672.71 + 0 = \$14,672.71 \dots (\text{Ec. 168})$$

En conclusión no es conveniente expandir la inversión en el año uno y ni expandirla en el año cinco ya que el valor agregado que genera esta opción es cero cuando se realiza en cualquier año.

Para la opción de reducir la inversión se analizaron en un periodo, dando un resultado de \$124,186.30 y en cinco periodos \$127,611.84 estos son los valores de la opción real de reducir en un periodo o en cinco, con estos se busca el  $VAN^A$  de cada periodo dando:

$$VAN^P = \$14,672.71$$

valor de las opciones reales de reducir en un periodo = \$124,186.30

valor de las opciones reales de reducir en cinco periodos = \$127,611.84

$$VAN^A = 14,672.71 + 124,186.30 = \$138,859.01 \dots (\text{Ec. 169})$$

$$VAN^A = 14,672.71 + 127,611.84 = \$142,284.55 \dots (\text{Ec. 170})$$

La opción más rentable de todas las analizadas fue la de reducir en cinco periodos obteniendo un  $VAN^A = 142,284.55$  con un valor agregado del proyecto inicial de \$127,611.84. Mientras que las opciones reales menos rentables fueron, diferir la inversión en un periodo y en cinco, y expandir la inversión en un periodo y en cinco con un  $VAN^A = \$14,672.71$  los cuales no tienen un valor agregado.

Para poder cuantificar el valor agregado de cada opción al  $VAN^P = 14,672.71$ , se genero una tabla 6.1 en la cuál podemos observar, el valor que cada tipo de opción agrega al proyecto.

	Diferir		Abandonar		Expandir		Reducir	
Valor de las OR	0	0	111,986.32	118,808.21	0	0	124,186.30	127,611.84
$VAN^A = VAN^P +$ valor de las OR	14,672.71 +0 =14,672.71	14,672.71 +0 =14,672.71	14,672.71+ 111,986.32 =126,659.03	14,672.71+ 118,808.21 =133,480.92	14,672.71 +0 =14,672.71	14,672.71 +0 =14,672.71	14,672.71+ 124,186.30 =138,859.01	14,672.71+ 127,611.84 =142,284.55
%↑ $VAN^P$	%=0	%=0	%=763.22	%=809.72	%=0	%=0	%=846.37	%=869.72

**TABLA 6.1 PORCENTAJE CON EL CUÁL AUMENTA EL  $VAN^P$  YA CON EL VALOR AGREGADO DE LAS OPCIONES REALES**

En la tabla 6.1 se observa que no todas las opciones reales generan un valor agregado al proyecto, en este caso no es conveniente diferir o expandir este proyecto en particular ya que su monto de inversion es menor que el  $VAN^P$  esto genera que estas dos opciones sean cero y no agregen valor al  $VAN^P$ . Mientras que las opciones de abandonar y de reducir el proyecto por las mismas circuntancias agregan valor al  $VAN^P$  este valor agregado se comparo en porcentajes para saber el cuando se mejoro el proyecto, para la opción de abandonar en un periodo el proyecto incremento 763.22% su valor y para la opción de abandonar en cinco periodos el proyecto incremento su valor en 809.72%.

Para la opción de reducir el proyecto en un periodo el valor agregado es de 846.37% mientras que el valor agregado de reducir en cinco periodos es de 869.72% con esto se concluye que para el proyecto esta es la opción con un mayor valor agregado y aunque se evaluaron cuatro opciones reales distintas y cada uno con 2 periodos de tiempo diferente, una de un periodo y la otra de 5 periodos, solo se generaron valor agregado en dos opciones con sus respectivos periodos.

La opciones reales, en general pueden mejorar la capacidad del proceso de toma de decisiones concernientes a la inversión de activos, ya que representan una herramienta flexible para la toma de decisiones, proporcionan modelos sencillos que arrojan valores razonables en oportunidades de inversión complejas, administran activamente el proyecto, permiten utilizar probabilidades de riesgo en la inversión, muestran de forma explícita los factores que afectan e intervienen en la valuación, arrojan resultados consistentes en condiciones reales de operación.

El potencial de la biomasa es vasto, sin embargo, en la actualidad la generación de energía mediante la utilización de dicha fuente resulta engorrosa, debido a que la tecnología utilizada para tal fin no ha alcanzado costos competitivos que permitan hacer uso de estas a gran escala, aunado a que su utilización se encuentra condicionada, en muchas situaciones, insumos suficientes, la alta volatilidad e incertidumbre con respecto al comportamiento futuro de los precios de venta de la energía, son algunos factores que consideran las variables con mayor incidencia en los flujos de caja de los proyectos de biomasa, hacen que valga la pena un enfoque de opciones reales.

## BIBLIOGRAFÍA

- Antonio Madrid Vicente. La biomasa y sus aplicaciones energéticas. 1a. Ed. España. Antonio Madrid Vicente Editor. 2012. 242p.
- Baca, Carlos; Oñate, Gonzalo González, Magda; Santana, Leonardo Ortega, Jorge; Medellín, Victor Díaz, Flor; Murcia, Jairo. PROYECTOS - Formulación y criterios de evaluación. 1a. Ed. USA. Editorial Alfaomega. 2009. 492p.
- Bacchini, Roberto D. García Fronti, Javier Márquez, Ezequiel A. Evaluación de inversiones con opciones reales utilizando Excel. 3a. Ed. Argentina. Editorial Omicron System. 2008. 233p.
- Beenackers Bridgwater. Gasification and pirolysis of biomass in europe, in pyrolysis and gasification. 1a. Ed. London. Elsevier Appl Science. 1989. 129-57p.
- Besel, Biomasa: Producción eléctrica y cogeneración. 1a. Ed. España. IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). 2008. 346p.
- Brambila, J. J. Bioeconomía: instrumentos para su análisis económico. 1a. Ed. México, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Colegio de Postgraduados. 2010. 260p.
- Coronado Silveira y Arauzo. Metodología de dimensionamiento, analisis energético y seleccion de equipamiento de un gasificador de biomasa para un acionamiento de un motor de combustion interna. 1a. Ed. Brasil. Universidad de campinas, UNICAMP. 2006. 483p.
- CoopeDota R.L. Diseño y construcción de un gasificador para la gasificación de la biomasa producida en el beneficio Coopedota R.L. con el objetivo de generar electricidad para los requerimientos energéticos de la empresa. 1a. Ed. Costa rica. Alianza en energia y ambiente con centroamérica. 2008. 77p.
- Crispin, Felix Quintero. Análisis de costos de producción de biocombustibles en Perú: unadimension social. Metodología aplicada en análisis tecno económico y medio ambiental. 1a. Ed. Perú. Editorial peruana. 2012. 546p.
- Damien A, La biomasa: Fundamentos, tecnologías y aplicaciones. 2a. Ed. París. AMV ediciones, Mundi- Prensa. 2010. 219p.
- Fernando Sebastián Nogués, Daniel García- Galindo, Adeline Rezeau. Ejerjía de la biomasa(volumen1).1a. Ed. España. Presas Universitarias de Zaragoza. 2010. 545p.
- Green Energy Consulting. 2015 Proyecto de biomasa de 45 mw en el ingenio la gloria, Sitio web: <http://www.greenco.com.mx/proyecto-biomasa.html>
- Johnathan, Mun. Real Options Analysis, tools and techniques for valuing strategic investments and decisions. 2a. Ed. USA, John Wiley Sons, Inc. 2002.386p.
- José María Fernández Salgado. Guía completa de la biomasa y los biocombustibles. 1a. Ed. España. . Antonio Madrid Vicente Editor. 2010. 283p.



Mena, Rafael Bautista. Evaluación de proyectos mediante opciones reales: una introducción práctica. 2a. Ed. Bogotá: Universidad de Los Andes, 2010. 184p.

Miguel David Rojas López. Evaluación de Proyectos Para Ingenieros. 1a. Ed. Colombia. Ecoe Ediciones. 2007. 260p.

Secretaría de Energía. 2014. Estrategia Nacional de Energía 2014-2028. Julio 2016, de Secretaría de Energía Sitio web: <http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/214/ENE.pdf>

Secretaría de Energía. 2015. Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional. 2016-2030. Julio 2016, de Secretaría de Energía Sitio web: [http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/102166/PRODESEN\\_2016-2030\\_1.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/102166/PRODESEN_2016-2030_1.pdf)

Secretaría de Energía. 2016. Prospectiva de energías renovables. 2016-2030. Julio 2016, de Secretaría de Energía Sitio web: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177622/Prospectiva\\_de\\_Energias\\_Renovables\\_2016-2030.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177622/Prospectiva_de_Energias_Renovables_2016-2030.pdf)