

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE PROYECTOS DE APROVECHAMIENTO  
ENERGÉTICO DE RESIDUOS ORGÁNICOS BIODEGRADABLES UTILIZANDO  
EVALUACIÓN FINANCIERA**

JUAN DIEGO ARIAS SÁNCHEZ

CARLOS JAIME GARCÍA MEJÍA

Asesor:

MBA. Elkin Gómez Salazar

UNIVERSIDAD EAFIT

DEPARTAMENTO INGENIERIA DE PROCESOS

MEDELLIN

2016

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE PROYECTOS DE APROVECHAMIENTO  
ENERGÉTICO DE RESIDUOS ORGÁNICOS BIODEGRADABLES UTILIZANDO  
EVALUACIÓN FINANCIERA**

JUAN DIEGO ARIAS SÁNCHEZ

CARLOS JAIME GARCÍA MEJÍA

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero de Procesos

Asesor: MBA. ELKIN GÓMEZ SALAZAR

UNIVERSIDAD EAFIT

DEPARTAMENTO INGENIERIA DE PROCESOS

MEDELLIN

2016

Nota de aceptación

---

---

Presidente del jurado

---

Jurado

---

Jurado

---

Medellín, 21 de noviembre de 2016

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

MBA. Elkin Gómez Salazar, por su asesoría, paciencia y comprensión durante la realización de este proyecto.

PhD. Santiago Builes y MsC. Kevin Molina, por su voluntad y tolerancia en los momentos más difíciles.

MBA. Sandra Gaitán, por su apoyo y ánimo que nos brindó durante la realización del proyecto.

A mi madre Flor María, quien pacientemente estuvo presente con su amor y cariño durante todo este larguísimo camino que concluye por fin.

A mi esposa Yesika, quien siempre estuvo a mi lado con sus palabras de apoyo.

A mi amigo Juan Diego, que aceptó emprender este proyecto y nunca desfalleció.

A mi amigo Carlos, que sin sus trasnochadas hubiese sido imposible la culminación de este proyecto.

## CONTENIDO

<b>1</b>	<b><u>INTRODUCCIÓN.....</u></b>	<b><u>14</u></b>
<b>2</b>	<b><u>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</u></b>	<b><u>16</u></b>
2.1	Hipótesis .....	17
<b>3</b>	<b><u>OBJETIVOS .....</u></b>	<b><u>18</u></b>
3.1.	Objetivo general.....	18
3.2.	Objetivos específicos .....	18
<b>4</b>	<b><u>ALCANCE .....</u></b>	<b><u>19</u></b>
<b>5</b>	<b><u>LIMITACIONES .....</u></b>	<b><u>20</u></b>
<b>6</b>	<b><u>MARCO CONCEPTUAL .....</u></b>	<b><u>22</u></b>
6.1	La biomasa y su entorno actual .....	22
6.2	Biogás.....	25
6.3	Desarrollo de los modelos de simulación aplicado .....	25
<b>7</b>	<b><u>MARCO TEÓRICO .....</u></b>	<b><u>27</u></b>
7.1	Residuo orgánico.....	27
7.2	Biogás.....	27
7.3	Compost.....	28
7.4	Compostaje .....	28
7.5	Biodigestión (digestión anaerobia) .....	29
7.6	Gasificación por plasma .....	29

<b>8</b>	<b><u>CASOS DE ESTUDIO</u></b>	<b><u>32</u></b>
<b>9</b>	<b><u>ESTUDIO TÉCNICO</u></b>	<b><u>36</u></b>
9.1	Compostaje	38
9.1.1	Maquinaria y equipos	38
9.1.2	Diagrama de bloques	39
9.1.3	Materia prima	39
9.1.4	Producción	39
9.1.4.1	Recolección	39
9.1.4.2	Separación residuos no deseados (segregación)	40
9.1.4.3	Mezclado	40
9.1.4.4	Acondicionamiento material – Adición agente de carga	40
9.1.4.5	Trituración	40
9.1.4.6	Compostaje	41
9.1.4.7	Medición de propiedades durante el proceso	41
9.1.4.8	Extracción del producto final	41
9.1.5	Ubicación e Instalaciones	41
9.1.6	Requerimiento de personal	42
9.2	Biodigestión	42
9.2.1	Maquinaria y equipos	42
9.2.2	Diagrama proceso de biodigestión	43
9.2.3	Materia prima	43
9.2.4	Producción	44
9.2.4.1	Recolección	44
9.2.4.2	Pre-tratamiento	44

9.2.4.3	Reactor de biodigestión .....	44
9.2.4.4	Almacenamiento en tanques .....	45
9.2.5	Ubicación e instalaciones .....	45
9.2.6	Requerimientos de personal .....	45
9.3	Gasificación por plasma .....	47
9.3.1	Insumos.....	47
9.3.2	Materia prima .....	47
9.3.3	Diagrama proceso de gasificación por plasma .....	48
9.3.4	Producción .....	48
9.3.4.1	Recolección .....	48
9.3.4.2	Control y pre-tratamiento de los residuos .....	49
9.3.4.3	El reactor de gasificación .....	49
9.3.4.4	Unidad de separación de aire .....	49
9.3.4.5	Limpieza del gas de síntesis.....	49
9.3.4.6	Almacenamiento en tanques .....	50
9.3.5	Maquinaria y equipos .....	50
9.3.6	Ubicación e instalaciones .....	51
9.3.7	Requerimientos de personal .....	51
<b>10</b>	<b><u>ESTUDIO ECONÓMICO .....</u></b>	<b><u>52</u></b>
10.1	Insumos y maquinaria.....	52
10.2	Inversión inicial para cada proceso .....	55
10.3	Costos unitarios .....	60
10.4	Costos y gastos .....	63
<b>11</b>	<b><u>EVALUACIÓN FINANCIERA.....</u></b>	<b><u>68</u></b>

11.1	Diagrama de influencia .....	68
11.2	Diagrama de influencia sin riesgos.....	74
11.3	Datos entrada compostaje .....	77
11.4	Datos de entrada biodigestión.....	78
11.5	Datos de entrada gasificación-pirólisis.....	79
11.6	Compostaje .....	80
11.6.1	Ventas compostaje.....	81
11.6.2	Flujo de caja del proyecto y resultados financieros compostaje.....	81
11.7	Biodigestión.....	82
11.7.1	Ventas biodigestión .....	83
11.7.2	Flujo de caja del proyecto y resultados financieros biodigestión .....	83
11.8	Gasificación-pirólisis .....	85
11.8.1	Ventas gasificación-pirólisis.....	86
11.8.2	Flujo de caja del proyecto y resultados financieros .....	86
11.9	Préstamos.....	87
<b>12</b>	<b><u>ANÁLISIS DE RIESGOS.....</u></b>	<b>89</b>
12.1	Análisis de riesgos.....	89
12.1.1	Análisis de sensibilidad.....	90
12.1.2	Análisis de escenarios .....	90
12.2	Diagrama de influencia con riesgos .....	91
12.3	Análisis de riesgos.....	92
12.3.1	Compostaje.....	95
12.3.2	Biodigestión .....	99
12.3.3	Gasificación-Pirólisis .....	103

12.4	Análisis de riesgos.....	107
12.4.1	Compostaje.....	107
12.4.2	Biodigestión .....	116
12.4.3	Gasificación-Pirólisis .....	122
<b>13</b>	<b><u>CONCLUSIONES.....</u></b>	<b>129</b>
<b>14</b>	<b><u>RECOMENDACIONES .....</u></b>	<b>132</b>
<b>15</b>	<b><u>BIBLIOGRAFÍA.....</u></b>	<b>133</b>
	<b><u>ANEXOS .....</u></b>	<b>137</b>

## LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1: Variables técnicas fijas para cada tecnología</i> .....	37
<i>Tabla 2: Eficiencias para cada tecnología</i> .....	37
<i>Tabla 3: Empleados para el funcionamiento de la planta compostaje</i> .....	42
<i>Tabla 4: Empleados para el funcionamiento de la planta gasificación-pirólisis</i> .....	51
<i>Tabla 5: Tarifas y costos de energía eléctrica - Mercado regulado</i> .....	53
<i>Tabla 6: Insumos y maquinaria del análisis</i> .....	54
<i>Tabla 7: Inversiones biodigestión</i> .....	56
<i>Tabla 8: Inversiones compostaje</i> .....	57
<i>Tabla 9: Inversiones gasificación-pirólisis</i> .....	58
<i>Tabla 10: Depreciaciones activos proyectos</i> .....	59
<i>Tabla 11: Recolección y transporte</i> .....	60
<i>Tabla 12: Acondicionamiento</i> .....	61
<i>Tabla 13: Compostaje</i> .....	61
<i>Tabla 14: Biodigestión</i> .....	62
<i>Tabla 15: Gasificación-Pirólisis</i> .....	62
<i>Tabla 16: Costos compostaje</i> .....	64
<i>Tabla 17: Costos biodigestión</i> .....	64
<i>Tabla 18: Costos gasificación-pirólisis</i> .....	65
<i>Tabla 19: Gastos compostaje</i> .....	66
<i>Tabla 20: Gastos biodigestión</i> .....	66
<i>Tabla 21: Gasificación gasificación-pirólisis</i> .....	66
<i>Tabla 22: Mapa general del análisis comparativo de proyectos utilizando evaluación financiera</i> ....	73
<i>Tabla 23: Datos entrada compostaje</i> .....	77
<i>Tabla 24: Datos de entrada biodigestión</i> .....	78
<i>Tabla 25: Datos de entrada gasificación-pirólisis</i> .....	79
<i>Tabla 26: Estado de resultados compostaje</i> .....	80
<i>Tabla 27: Estimación de producción y venta de compost</i> .....	81
<i>Tabla 28: Flujo de caja compostaje</i> .....	81
<i>Tabla 29: Resultados financieros compostaje</i> .....	81
<i>Tabla 30: Estado de resultados biodigestión</i> .....	82
<i>Tabla 31: Ventas biodigestión</i> .....	83
<i>Tabla 32: Flujo de caja biodigestión</i> .....	83
<i>Tabla 33: Resultados financieros biodigestión</i> .....	83
<i>Tabla 34: Estado de resultados gasificación-pirólisis</i> .....	85
<i>Tabla 35: Ventas gasificación-pirólisis</i> .....	86
<i>Tabla 36: Flujo de caja gasificación-pirólisis</i> .....	86
<i>Tabla 37: Resultados financieros gasificación-pirólisis</i> .....	86
<i>Tabla 38: Información general crédito</i> .....	87
<i>Tabla 39: Amortización crédito</i> .....	87

<i>Tabla 40: Eventos para el análisis de riesgos.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 41: Estado de resultados compostaje con riesgo.....</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 42: Utilidad compostaje con riesgo.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 43: Flujo de caja compostaje con riesgo.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 44: Estado de resultados biodigestión con riesgo.....</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 45: Utilidad biodigestión con riesgo.....</i>	<i>100</i>
<i>Tabla 46: Flujo de caja biodigestión con riesgo.....</i>	<i>100</i>
<i>Tabla 47: Estado de resultados gasificación-pirólisis con riesgo.....</i>	<i>103</i>
<i>Tabla 48: Utilidad gasificación-pirólisis con riesgo.....</i>	<i>104</i>
<i>Tabla 49: Flujo de caja gasificación-pirólisis con riesgo.....</i>	<i>104</i>
<i>Tabla 50: Probabilidad de ocurrencia eventos compostaje.....</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 51: Frecuencia de eventos compostaje.....</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 52: Impacto si ocurre compostaje.....</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 53: VPN libre de riesgo compostaje.....</i>	<i>114</i>
<i>Tabla 54: Probabilidad de ocurrencia eventos biodigestión.....</i>	<i>116</i>
<i>Tabla 55: Frecuencia de eventos biodigestión.....</i>	<i>116</i>
<i>Tabla 56: Impacto si ocurre biodigestión.....</i>	<i>118</i>
<i>Tabla 57: VPN libre de riesgo biodigestión.....</i>	<i>120</i>
<i>Tabla 58: Probabilidad de ocurrencia eventos gasificación-pirólisis.....</i>	<i>122</i>
<i>Tabla 59: Frecuencia de eventos gasificación-pirólisis.....</i>	<i>122</i>
<i>Tabla 60: Impacto si ocurre gasificación-pirólisis.....</i>	<i>124</i>
<i>Tabla 61: VPN libre de riesgo gasificación-pirólisis.....</i>	<i>127</i>

## LISTA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1: Diagrama de bloques del proceso compostaje .....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 2: Proceso biodigestión .....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 3: Empleados para el funcionamiento en la planta de producción de biogás por digestión anaerobia .....</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 4: Proceso de gasificación por plasma. ....</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 5: Gráfica @Risk VPN Compostaje .....</i>	<i>97</i>
<i>Ilustración 6: Gráfica @Risk TIR compostaje.....</i>	<i>97</i>
<i>Ilustración 7: Gráfica @Risk VPN biodigestión .....</i>	<i>101</i>
<i>Ilustración 8: Gráfica @Risk TIR biodigestión.....</i>	<i>101</i>
<i>Ilustración 9: Gráfica @Risk VPN gasificación-pirólisis.....</i>	<i>105</i>
<i>Ilustración 10: Gráfica @Risk TIR gasificación-pirólisis .....</i>	<i>105</i>
<i>Ilustración 11: Gráfica @Risk evento compostaje .....</i>	<i>107</i>
<i>Ilustración 12: Gráfica @Risk evento compostaje .....</i>	<i>108</i>
<i>Ilustración 13: Gráfica @Risk evento compostaje .....</i>	<i>109</i>
<i>Ilustración 14: Gráfica @Risk total evento compostaje .....</i>	<i>110</i>
<i>Ilustración 15: Gráfica @Risk impacto real si ocurre evento compostaje .....</i>	<i>111</i>
<i>Ilustración 16: Gráfica @Risk impacto real si ocurre evento compostaje .....</i>	<i>112</i>
<i>Ilustración 17: Gráfica @Risk impacto real si ocurre evento compostaje .....</i>	<i>113</i>
<i>Ilustración 18: Gráfica @Risk total impacto real si ocurre evento compostaje .....</i>	<i>114</i>
<i>Ilustración 19: Jerarquía de Spearman compostaje .....</i>	<i>115</i>
<i>Ilustración 20: Gráfica @Risk evento biodigestión .....</i>	<i>116</i>
<i>Ilustración 21: Gráfica @Risk evento biodigestión .....</i>	<i>117</i>
<i>Ilustración 22: Gráfica @Risk total eventos biodigestión .....</i>	<i>118</i>
<i>Ilustración 23: Gráfica @Risk impacto real si ocurre evento biodigestión .....</i>	<i>119</i>
<i>Ilustración 24: Gráfica @Risk impacto real si ocurre evento biodigestión .....</i>	<i>119</i>
<i>Ilustración 25: Gráfica @Risk total impacto real si ocurre evento biodigestión .....</i>	<i>120</i>
<i>Ilustración 26: Jerarquía de Spearman biodigestión .....</i>	<i>121</i>
<i>Ilustración 27: Gráfica @Risk evento gasificación-pirólisis.....</i>	<i>123</i>
<i>Ilustración 28: Gráfica @Risk total evento gasificación-pirólisis .....</i>	<i>124</i>
<i>Ilustración 29: Gráfica @Risk impacto real si ocurre evento gasificación-pirólisis .....</i>	<i>125</i>
<i>Ilustración 30: Gráfica @Risk impacto real si ocurre evento gasificación-pirólisis .....</i>	<i>126</i>
<i>Ilustración 31: Gráfica @Risk total impacto real si ocurre eventos gasificación-pirólisis .....</i>	<i>127</i>
<i>Ilustración 32: Jerarquía de Spearman gasificación-pirólisis .....</i>	<i>128</i>

## RESUMEN

Los residuos sólidos urbanos son un creciente problema en las ciudades debido al fenómeno de la concentración urbana. La generación desmedida de residuos, la mala gestión de estos (disposición en rellenos sanitarios o al aire libre), lo que causa, por falta de un adecuado tratamiento o aprovechamiento, una cantidad excesiva de metano que se va a la atmósfera y lixiviados que contaminan las aguas subterráneas, todo eso, producto de la descomposición.

Para empezar a mitigar este problema, se debe modificar la forma en la que se gestionan los residuos sólidos urbanos para que se conviertan en un recurso, no en un costo. Lo anterior, se puede lograr implementando tecnologías de aprovechamiento energético entre otros, el compostaje, la biodigestión y la gasificación-pirólisis

Por esto, en este proyecto de grado se diseñó un modelo de análisis comparativo de proyectos de aprovechamiento energético de residuos orgánicos biodegradables utilizando evaluación financiera, con el objetivo de contar con una herramienta que permitiera analizar y comparar diferentes tecnologías.

**Palabras claves:** Compostaje, Biodigestión, Gasificación-Pirólisis, Evaluación Financiera, Aprovechamiento Energético, Compost, Biogás, Análisis Comparativo de Proyectos.

## 1 INTRODUCCIÓN

Los proyectos de Aprovechamiento Energético de Residuos Orgánicos Biodegradables (AEROB) presentan una amplia gama de opciones en tecnologías y procesos para el tratamiento de estos residuos, como lo son el compostaje, la biodigestión, la gasificación-pirólisis, entre otros. Para el diseño y ejecución de este tipo de proyectos, se deben cumplir parámetros técnicos y económicos que aseguren su viabilidad en el tiempo.

Para esto, es necesario realizar un estudio a fondo de las especificaciones técnicas y financieras que involucran el proyecto, con el fin de tomar la mejor decisión. En el diseño de estos procesos de aprovechamiento energético, se encuentra en la literatura toda la información necesaria para la etapa técnica: diseño del proceso, fundamentos de los balances de materia y energía, preparación del diagrama de flujo, selección de equipos, por último, su construcción y puesta en marcha.

Sin embargo, hoy en día, la evaluación financiera de proyectos AEROB carece de información para comparar financieramente la mejor opción entre los tipos de tecnología y/o procesos; ya que se han creado análisis financieros para cada tipo de aprovechamiento, pero específicos para la situación particular analizada (Monje Cillero, 2012) y no permite ser usado de manera posterior en el análisis de otras tecnologías. Es decir, que aún falta tener una herramienta que permita analizar comparativamente en términos financieros, cuál de los diferentes aprovechamientos

es mejor o más adecuado, según diferentes condiciones iniciales, de una forma ágil; por lo que se ha planteado como objetivo para este proyecto de grado, diseñar un análisis comparativo utilizando evaluación financiera, para diferentes tipos de proyectos AEROB. Así, se obtiene una herramienta que permite comparar el tratamiento de residuos orgánicos biodegradables por medio de las tecnologías de gasificación-pirólisis, biodigestión y compostaje, desde un punto de vista financiero, bajo diferentes variables económicas y eventos externos que afectan al proyecto (variables cualitativas).

Este análisis comparativo de proyectos, permite que la toma de decisiones se acomode a las necesidades financieras, es decir, debido a que los diferentes tipos de AEROB tienen diferentes ciclos de vida, inversiones y flujos de caja, permite crear un portafolio de opciones para el inversionista, lo que facilita la creación de nuevos proyectos AEROB, permitiendo así, dar a los residuos orgánicos un uso diferente al tradicional (disposición en rellenos sanitarios y quema al aire libre), disminuyendo la contaminación y el impacto ambiental.

## 2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los residuos orgánicos biodegradables o residuos sólidos urbanos (RSU) pueden ser aprovechados de diferentes formas. Entre ellas los proyectos AEROB, que incluyen diferentes tecnologías como gasificación-pirólisis, biodigestión y compostaje. Cada una de estas tecnologías de aprovechamiento energético tienen características diferentes en cuanto: la inversión inicial, el retorno de la inversión, flujo de caja y el tiempo de vida útil. Éstas características permiten que un proyecto se acomode más a una tecnología que a otra.

Así, al revisar la bibliografía disponible en medios físicos y electrónicos de proyectos de valoración energética de residuos (Valentín, 2012; Martínez, 2009; Vásquez, 2005; Salas y Giraldo, 1996; Tchobanoglus, 1994), se encuentra evaluaciones financieras de proyectos en general, pero que no hacen la comparación entre diferentes tecnologías para el tratamiento de residuos biodegradables, lo que se constituye en un problema, pues no es posible realizar un análisis comparativo utilizando evaluación financiera para decidir qué tecnología o proceso es la mejor opción para un proyecto AEROB.

Este problema se aborda respondiendo a las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Cuáles son las variables más significativas para la evaluación financiera de proyectos AEROB?

- ¿El modelo de análisis de riesgos de los proyectos AEROB es consistente con el modelo determinístico para estos mismos proyectos?
- ¿El diagrama de influencia permite comparar de manera adecuada proyectos AEROB desde un enfoque financiero?
- ¿Las tecnologías de gasificación-pirólisis, biodigestión y compostaje ofrecen el mismo margen de ganancia con la misma inversión inicial?

La inclusión de información económica y el ajuste de proyectos AEROB al análisis comparativo utilizando evaluación financiera, permitirá generar resultados concluyentes con los que se puede definir la mejor opción de aprovechamiento de los residuos orgánicos entre las diferentes tecnologías antes mencionadas. Lo que facilita que potenciales inversionistas tomen decisiones fácilmente y puedan estos proyectos llevarse a cabo.

## **2.1 Hipótesis**

Las características técnicas y financieras de los proyectos AEROB que aplican las tecnologías de compostaje, biodigestión o gasificación-pirólisis son diferentes, entonces, es posible diseñar un análisis comparativo utilizando evaluación financiera.

## **3 OBJETIVOS**

### **3.1. Objetivo general**

- Diseñar un análisis comparativo de proyectos de aprovechamiento energético a partir de residuos sólidos biodegradables utilizando evaluación financiera para las tecnologías de compostaje, biodigestión, gasificación-pirólisis.

### **3.2. Objetivos específicos**

- Identificar las variables más significativas para la evaluación financiera de proyectos aplicados al aprovechamiento energético de residuos orgánicos biodegradables.
- Establecer el diagrama de influencia del análisis comparativo de proyectos de aprovechamiento energético a partir de residuos orgánicos biodegradables utilizando evaluación financiera, determinístico y con riesgo.
- Calcular flujo de caja para cada proyecto de aprovechamiento energético (Gasificación-Pirólisis, Compostaje, Biodigestión).
- Comparar los principales indicadores financieros de cada proyecto (VPN y TIR) y concluir de acuerdo a los resultados.
- Evaluar el análisis comparativo con información de un proyecto real de aprovechamiento energético a partir de residuos sólidos biodegradables: (Gasificación-Pirólisis, Compostaje, Biodigestión).
- Identificar el efecto de las variables más relevantes (eventos), en los resultados financieros de los proyectos; evaluadas en un entorno de análisis de riesgos (@Risk).

#### **4 ALCANCE**

Al finalizar el proyecto, se dispondrá de un análisis comparativo para la evaluación financiera de proyectos de aprovechamiento energético a partir de residuos sólidos urbanos (RSU) biodegradables, en el que se incluye las variables relevantes del análisis comparativo, para la toma de decisiones en la mejor opción de tecnología, teniendo en cuenta que este análisis comparativo presenta limitaciones que se especifican en el numeral siguiente.

## 5 LIMITACIONES

Para que los resultados sean coherentes, se puedan tomar decisiones y obtener conclusiones; en el diseño del análisis comparativo de proyectos de aprovechamiento energético a partir de residuos orgánicos biodegradables utilizando evaluación financiera, se definen restricciones, esto, con el fin de que se puedan comparar las tecnologías de interés.

A continuación, se presentan las restricciones del proyecto:

### **Restricciones del proyecto**

**Tipo de residuo:** El análisis comparativo de proyectos se diseña, solo para el tratamiento de residuo sólido urbano (RSU). Esta es una limitante en el sentido de que el proyecto solo contempla este tipo y no incluye mezclas de tipos. Por ejemplo, proyectos para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios mezclados con residuos sólidos urbanos. Se encuentra fuera del alcance de estudio. Sin embargo, si se desea utilizar el análisis comparativo para otros tipos de residuos o mezclas se debe modificar la eficiencia para cada tecnología.

**Inversión de capital:** en este punto, lo único que restringe la cantidad total de dinero a invertir será la capacidad de las instalaciones, es decir, la capacidad de procesamiento de los residuos que entran.

**Variables cualitativas (eventos):** para efectos de analizar la influencia que ejercen eventos externos al proyecto, se toman en cuenta *la lluvia*, el hecho de que *la fuente de los RUS no separa los residuos* y *la entrada de un nuevo competidor*, sin embargo, no son los únicos y se puede analizar otros eventos.

## **6 MARCO CONCEPTUAL**

### **6.1 La biomasa y su entorno actual**

El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de las plantas, arboles, desechos urbanos y desechos animales que pueden ser convertidos en energía. La energía de la biomasa, es considerada la energía renovable más vieja del mundo desde que los primeros humanos existieron y descubrieron el fuego (Martínez, 2009).

Desde antaño, la forma más común de utilizar esta energía ha sido por medio de combustión directa, quemándola en hogueras, hornos, cocinas artesanales e incluso, en los inicios de la revolución industrial, alimentaba calderas para la producción de vapor (Lopez, 2003)

Hoy día, la biomasa abarca muchas fuentes y tecnologías energéticas, por eso, dependiendo del tipo de biomasa se pueden requerir de procesos más o menos complejos; dependiendo del material original y el producto final deseado, se determina el proceso de conversión, también teniendo en cuenta, la escala de producción (tamaño hogar o industrial) (Martínez, 2009).

En el mundo se producen aproximadamente 1600 millones de toneladas por año de residuos sólidos (Skinner, 2000), los cuales generan grandes problemas, no solo por el deterioro progresivo del medio ambiente, sino también, desde el punto de

vista económico, puesto que los costos de recolección, transporte y disposición final son cada vez mayores (Lopez, 2003)

En el caso de Colombia, las cifras del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo indican que en un día el país produce 27300 toneladas de residuos sólidos urbanos de las cuales el 65% son residuos orgánicos y el 35% inorgánicos. Los componentes que constituyen la fracción orgánica son residuos de alimento, papel, cartón, madera y residuos de jardín. De todo este material orgánico generado, solo el 40% tiene un manejo adecuado, el 50% es manejado de forma indebida y gracias al reciclaje el 10% es recuperado (Ministerio de Ambiente, 2012).

Para la conversión de la biomasa se tienen tres tipos de procesos según la necesidad: *proceso de combustión directa*, que se utiliza para la generación de calor por medio de la quema del material orgánico. Este proceso es muy utilizado en hogares rurales donde no cuentan con las comodidades del fluido eléctrico en los hornos de sus cocinas. En la industria, algunas empresas utilizan este proceso para alimentar las calderas para la generación de vapor (Valentín, 2011).

El segundo tipo de proceso, son los *procesos termo-químicos*, en este, se convierte la biomasa en un producto combustible a través de un proceso de pirólisis o gasificación y el producto final generado, tiene más densidad y poder calorífico, lo cual hace más conveniente su utilización como fuente de energía (Valentín, 2011).

Finalmente, tenemos los *procesos bio-químicos*, en estos procesos, se utiliza la biomasa humedecida con bacterias en un ambiente aeróbico para producir biogás, el cual se obtiene con procesos como la biodigestión y compostaje (Valentín, 2011).

La biomasa tiene gran importancia a nivel industrial, agrícola y urbano, en países como Chile, España, incluso Colombia, se vienen haciendo esfuerzos por aprovechar los desechos orgánicos generados en las industrias, el campo y en las ciudades con el objetivo de generar energía, reduciendo el impacto ambiental que estos desechos generan, lo que se traduce en generación de empleo y cultura de una correcta disposición de los residuos orgánicos (Martínez, 2009).

Los gobiernos de los países, en conjunto con las universidades y la industria, se han dado a la tarea de darle cabida a proyectos de esta índole. Las universidades, por un lado, buscan optimizar, mejorar y encontrar nuevas aplicaciones para darle solución a problemáticas ambientales generadas por estos residuos. (Martínez, 2009).

Por otro lado, la industria, con el ánimo de darle una correcta disposición a los residuos generados dentro de sus instalaciones y gozar de los beneficios legales y económicos que los gobiernos establecen por la disminución en la contaminación producidas en sus procesos; han hecho modificaciones a equipos entre otros como calderas, donde se queman los residuos y generan vapor a un bajo costo y hornos donde se queman gases para utilizarlo como secador (UE, 2010).

Es por todo lo anterior, que las universidades como centros de creación de conocimiento, han aportado estudios y nuevas aplicaciones para dar solución a la disposición de los residuos en áreas urbanas y rurales, como en la generación de energía para suplir las necesidades energéticas de las ciudades en un futuro próximo (UE, 2010).

## **6.2 Biogás**

Existen algunos estudios de factibilidad económica del biogás ya realizados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés), que permiten conocer si los proyectos son viables o no. Estos modelos explican al inversionista algunas guías para adentrarse en este tipo de proyectos y saber cuáles son sus limitantes y oportunidades económicas (EPA, 2016).

## **6.3 Desarrollo de los modelos de simulación aplicado**

En la línea de conocimiento de desarrollo de modelos de simulación aplicados, algunas universidades chilenas han realizado modelos de simulación para la gestión de residuos sólidos domiciliarios, enfocándose, en factores que influyen en el aumento de la contaminación, debido al mal tratamiento de la materia orgánica producida en los hogares de las grandes ciudades, y mediante un proyecto, mejorar los rellenos sanitarios y la cultura del reciclaje, soportados, en un modelo de evaluación financiera y económica, demostrando así, la factibilidad de aplicar estas soluciones (Vásquez, 2005).

Para la formulación del modelo en su etapa inicial, Vásquez (2005) utiliza diagramas de influencia, definiendo las relaciones entre las variables que afectaban la gestión de los residuos domiciliarios.

Después de la definición del diagrama de influencia y sus variables Vásquez (2005), procede a desarrollar los módulos del modelo. En este análisis, se realizan simulaciones en diferentes marcos para garantizar la rentabilidad de este proceso y que tenga una flexibilidad operativa según los perfiles de carga simulados.

Para finalizar, la bibliografía referente a modelos financieros desarrollados para este tipo de proyectos no compara tecnologías y/o procesos, es por esto, que se toma como una oportunidad para diseñar e implementar un análisis comparativo de proyectos utilizando evaluación financiera, para futuros proyectos de aprovechamiento energético a partir de residuos orgánicos biodegradables.

## **7 MARCO TEÓRICO**

Es importante para el entendimiento de este proyecto de grado, conocer la definición de conceptos, y tecnologías y/o procesos relacionados con el tratamiento y aprovechamiento energético de los residuos orgánicos biodegradables, es por lo anterior, que se definen a continuación:

### **7.1 Residuo orgánico**

Se denominan residuos orgánicos, al material con la característica de poder degradarse rápidamente (material biodegradable), transformándose en otro tipo de materia orgánica, los restos de comida, frutas, verduras, cáscaras, cáscaras de huevo, tala y poda, entre otros, pueden ser considerados residuos orgánicos biodegradables (Uribe López, Vanegas Barrera, & Cardona González, 2004).

### **7.2 Biogás**

El Biogás es un producto generado desde de la digestión anaerobia (sin presencia de oxígeno) realizada en un Bio-digestor cuya materia prima son los residuos orgánicos, es un gas útil para la generación de energía eléctrica, mecánica y calorífica. Este gas en un gran porcentaje es gas metano (aproximadamente entre un 55 y 70 %, dependiendo de la temperatura de fermentación) con trazas de hidrogeno, ácido sulfhídrico y otros (Cortázar Dueñas, 2014)

### **7.3 Compost**

Es el producto final que se obtiene de la descomposición aeróbica controlada de materia orgánica tales como restos de comida, hojas caídas, estiércol, entre otros. Se usa para fertilizar o rejuvenecer suelos (Kuan, 2014).

### **7.4 Compostaje**

El compostaje es una técnica de tratamiento de residuos sólidos urbanos que consiste en la degradación aeróbica (en presencia de oxígeno) de materia orgánica en condiciones controladas de aireación, humedad y temperatura puede ser atractiva para mejorar las condiciones del suelo donde se realice, gracias a los beneficios que esta trae, tales como:

- Mejora las propiedades físicas del suelo.
- Mejora las propiedades químicas del suelo.
- Mejora la actividad biológica del suelo.

Estos beneficios permiten que los suelos sean más esponjosos y retengan mayor cantidad de agua, aumentan el contenido de macronutrientes y micronutrientes, y actúa como soporte y alimento de microorganismos contribuyendo a la mineralización. (Uribe López, Vanegas Barrera, & Cardona González, 2004)

## **7.5 Biodigestión (digestión anaerobia)**

La digestión anaerobia es uno de los tratamientos más importantes para los residuos sólidos, que se lleva a cabo por medio de la fermentación, para la cual se utiliza un determinado tipo de bacterias anaeróbicas presentes en los excrementos que en condiciones de ausencia de oxígeno degradan la materia orgánica para producir una mezcla de gases llamada biogás con una composición entre el 50 y el 80% de metano.

El biogás es un excelente combustible y el resultado de este proceso genera ciertos residuos con un alto grado de concentración de nutrientes el cuál se utiliza como fertilizante y puede usarse fresco, ya que por el tratamiento anaeróbico los malos olores son eliminados (Bermúdez Lopera & Valderrama Agudelo, 2012).

## **7.6 Gasificación por plasma**

La *gasificación* es una tecnología comercial probada en la eliminación de residuos sólidos, se utiliza para la conversión de materiales en un gas de síntesis (syngas) mediante una reacción de oxígeno con vapor, que aporta una cantidad de energía suficiente para romper los enlaces moleculares, transformando está sustancia líquida o sólida en gas de síntesis orgánico o en lava fundida, que al enfriarse se convierte en un producto vítreo inerte.

Con toda la baraja existente en el tratamiento de residuos sólidos urbanos, la gasificación es una alternativa a la incineración, obteniendo eficiencias energéticas

del 50%, lo que redundará en la reducción de emisiones a la atmósfera y el volumen de subproductos sólidos, gracias al proceso de vitrificación que convierte materiales tóxicos en inertes (Monje Cillero, 2012).

El *plasma* es la forma más abundante de materia en el universo se puede encontrar en los rayos y las auroras boreales. Se le considera un estado particular de la materia porque presenta características propias que no se dan en los estados sólidos, líquido o gas. Su formación se da a unos 5000°C al calentar la materia común, produciendo fluidos o gases cargados eléctricamente. La característica principal de estos “gases ionizados” es facilitar un “low mass heat transfer” y generar temperaturas de hasta 14000°C.

La *gasificación por plasma*, ofrecen características diferenciales que la hacen una tecnología superior a las tradicionales como la incineración, la biodigestión y el compostaje, entre otras. A continuación, se listan estas características:

- Las altas temperaturas permiten una disociación definitiva e irreversible de las estructuras moleculares en sus compuestos básicos.
- Cracking térmico.
- Oxidación parcial.
- Reformación, ensamblan los elementos primarios en nuevas moléculas.

La gasificación por plasma es una tecnología que ha mostrado ser eficiente en la eliminación de RSU convirtiéndolos en energía limpia y segura, solucionando el problema de la disposición de estos residuos que en ocasiones son peligrosos.

Las antorchas de plasma –utilizadas en la gasificación por plasma- ofrecen la mejor solución en la eliminación de los residuos sólidos conocida hasta ahora, ya que esta elimina y vaporiza las toxinas de forma eficiente y convirtiéndolas en energía renovable (Monje Cillero, 2012).

## 8 CASOS DE ESTUDIO

En vista de garantizar que este análisis sea confiable, lo más apropiado es buscar casos de estudios que se hayan realizado y que se puedan evaluar en este análisis comparativo utilizando evaluación financiera. Debido a que no se hicieron pruebas de laboratorio, o algún ensayo en campo al estar fuera del alcance de este proyecto, se decidió recurrir a estudios ya realizados en el área del aprovechamiento energético a partir de residuos sólidos biodegradables o residuos sólidos urbanos (RSU).

Para llevar a cabo este análisis comparativo, fue necesario parametrizar algunas variables para que estos casos de estudios fueran comparables el uno con el otro. A continuación, se explica la parametrización que tendrán las tres tecnologías que se analizan en este proyecto:

- *Terreno*, para las tres tecnologías se tendrá un terreno de 8 hectáreas por un valor de 800 millones de pesos (Uribe López, Vanegas Barrera, & Cardona González, 2004), tomado del caso de estudio para obtención de compostaje y será el dato fijo para las tecnologías restantes.
- *Materia prima*, en este caso, se limita la materia prima a los residuos sólidos urbanos (RSU), de la cual se conoce la eficiencia para cada tecnología.

- *Capacidad de procesamiento*, se limita la capacidad de procesamiento entre 200 y 250 toneladas por día (Uribe López, Vanegas Barrera, & Cardona González, 2004).
- *Precio de venta*, ya que no se cuenta con datos históricos para el precio de venta de los productos de las tecnologías, se investigó en la literatura disponible, el rango en el que se mueven los precios de venta del compost y el biogás.
- *Porcentaje de ocurrencia de eventos*, para este punto en particular, no se tiene ningún estudio o dato real, por este motivo, los datos suministrados al análisis son supuestos.
- *Crédito*, aunque se tiene en cuenta el espacio para la adquisición de un crédito en el análisis, en este caso, ninguna de las tecnologías se analiza con crédito, sin embargo, sí alguien quiere hacer el análisis teniendo en cuenta un crédito, dispone de los campos necesarios para calcularlo y ser incluido en el flujo de caja.

El modelo de evaluación financiera de este análisis comparativo necesita ser probado y para esto, se recurre a casos de estudio, los cuales ya han sido realizados bien sea en proyectos de grado o proyectos de aprovechamiento energético llevados a cabo.

A continuación, se relaciona brevemente cada uno de los casos de estudio:

- *Plan de negocios para la creación de una planta de procesamiento de residuos sólidos urbanos para la producción de compost*: viabilidad para tres ubicaciones en la ciudad de Bogotá y sus alrededores: esta tesis de grado tiene como objetivo producir compost en tres localidades diferentes en Bogotá, su tamaño de producción es de 9 Ton por mes, y el tipo de material a procesar son residuos sólidos urbanos. Es un estudio completo, el cual pretende abarcar un mercado objetivo en un lugar en concreto basándose en el consumo del cliente y la disposición de la materia prima en el departamento de Cundinamarca (Uribe López, Vanegas Barrera, & Cardona González, 2004).
- *Análisis de viabilidad de una planta de tratamiento de residuos tipo III por medio de pirolisis por plasma*: Este estudio realizado en España el cual tiene como fin usar la pirolisis por medio de un arco de plasma. Su justificación radica en que la generación de energía a partir de residuos es la tendencia que se presenta en Europa y la pirolisis es la mejor forma para obtener energía en la gestión de residuos. Esta tecnología está más desarrollada en Europa a diferencia de Latinoamérica, lo cual nos dificultó encontrar un caso local así que nos tuvimos que acoger a este. Su producto es el gas de síntesis, calor y escoria principalmente y su capacidad de procesamiento es de 5500 Ton/mes (Monje Cillero, 2012).

- *Estudio de pre factibilidad para el aprovechamiento del biogás generado en el relleno sanitario “Don Juanito” municipio de Villavicencio, Colombia:* esta tesis de grado es un proyecto de aprovechamiento energético para la producción de biogás de un relleno sanitario ya existente. El hecho de que ya se encuentre construido no afecta el análisis, ya que esto hace parte de un aprovechamiento el cual incluye nuevas inversiones. Se asume como si la biomasa estuviera almacenada y se procediera a ser usada en la producción del biogás. Adicionalmente, este trabajo cuenta con tasas de producción de biogás, lo cual permitía generar una salida al proyecto y conocer sus ingresos por la producción de este (Estudios y Técnicas Especializadas en Ingeniería S.A. de C.V., 2006).

## 9 ESTUDIO TÉCNICO

La información técnica es parte vital en la elaboración de un proyecto, ya que provee información importante en la definición de las materias primas, insumos, maquinaria y equipos, requeridos para la obtención del producto final.

De acuerdo a lo anterior, se definen para cada tecnología que se trabajan en este proyecto: insumos, materias primas, maquinaria y equipos, ubicación, instalaciones, producción, requerimiento de personal; esto es necesario para definir la cantidad de materia prima a ser tratada, la producción de producto de acuerdo al tamaño de los equipos y/o maquinaria usados en los proyectos.

Para poder realizar el análisis comparativo de estos proyectos -como se mencionó anteriormente-, es necesario recurrir a casos de estudio –individual por cada tecnología- que nos permitan ver cómo se comporta la información. Desafortunadamente, en la literatura consultada no se encuentran proyectos que evalúen diferentes tecnologías a la vez, es decir, literatura que compare basados en la misma, materia prima –residuos sólidos urbanos (RSU)-, capacidad y terreno, por lo anterior, acudimos a casos de estudio de diferentes tecnologías –gasificación, biodigestión y compostaje-, pero de igual envergadura. Gracias a esto, se puede evaluar y obtener conclusiones a partir de los resultados finales.

A continuación, se presenta la información de las variables técnicas fijas para las tres tecnologías que se comparan en este proyecto:

<b>Terreno</b>	8 Ha
<b>Materia prima</b>	Residuos sólidos urbanos (RSU)
<b>Capacidad de los proyectos</b>	200 – 250 ton/día

**Tabla 1:** Variables técnicas fijas para cada tecnología

La eficiencia de cada tecnología es de suma importancia para conocer el rendimiento en la obtención de los productos al procesar la materia prima, la cual es diferente para cada caso y se listan a continuación: eficiencia del compostaje (Uribe López, Vanegas Barrera, & Cardona González, 2004), eficiencia biodigestión (Estudios y Técnicas Especializadas en Ingeniería S.A. de C.V., 2006), y eficiencia gasificación (Monje Cillero, 2012).

<b>Eficiencia compostaje</b>	3,33:1 (ton RSU:ton compost)
<b>Eficiencia biodigestión (digestión anaerobia)</b>	400m <sup>3</sup> /ton
<b>Eficiencia gasificación</b>	480m <sup>3</sup> /ton

**Tabla 2:** Eficiencias para cada tecnología

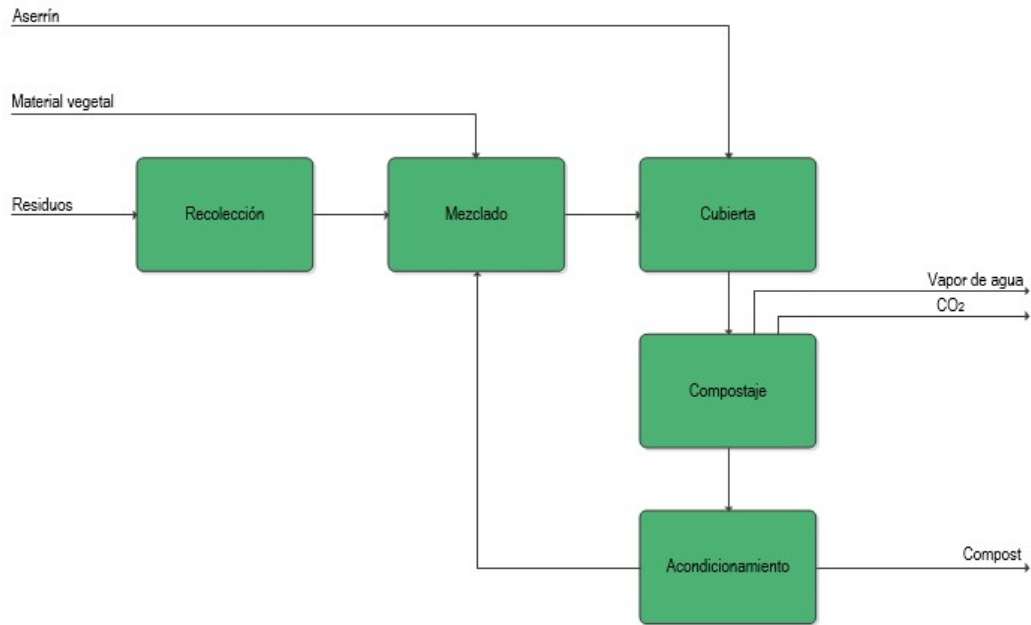
## **9.1 Compostaje**

### **9.1.1 Maquinaria y equipos**

La maquinaria y principales equipos requeridos para la obtención del producto final se nombran a continuación:

- 4 tolvas de acopio
- 4 bandas transportadoras para segregación
- 2 camas transportadoras elevadas
- 1 trituradora
- 4 volquetas
- 7 retroexcavadoras de pala frontal
- 3 tolvas de empaque
- 3 elevadores de cangilones
- 3 empacadoras
- 1 montacargas

### 9.1.2 *Diagrama de bloques*



**Ilustración 1:** Diagrama de bloques del proceso compostaje (BFD)

### 9.1.3 *Materia prima*

La materia prima para la producción de compost son los residuos sólidos urbanos.

### 9.1.4 *Producción*

Según el informe de (Kuan, 2014), las siguientes son las etapas para la producción de compost:

#### 9.1.4.1 *Recolección*

Se deben recoger todos los residuos orgánicos desde el punto de recolección y transportar hasta el lugar de acondicionamiento.

#### **9.1.4.2 Separación residuos no deseados (segregación)**

Cuando no se hace la debida separación de la materia orgánica en la fuente, se puede encontrar desechos de cartón, plástico o papel y otros residuos, que no hacen parte del material a ser compostado. Aunque algunos de estos materiales pudieran incorporarse sin problema al sistema, como el cartón y el papel, es necesaria una evaluación en cada caso.

#### **9.1.4.3 Mezclado**

Mezclar los residuos tanto orgánicos, como vegetales de tal forma que quede una mezcla homogénea.

#### **9.1.4.4 Acondicionamiento material – Adición agente de carga**

Con el fin de obtener las condiciones deseadas para el desarrollo del compost, debe ajustarse la densidad de la mezcla dependiendo de la necesidad de aireación, por lo cual generalmente se debe mezclar la materia orgánica con material "poroso" o de baja densidad, para disminuir la compactación de la mezcla y permitir mayor flujo de aire, además de esto se adiciona el agente de carga (aserrín) que ayuda a equilibrar algunas propiedades y facilitar condiciones de aireación.

#### **9.1.4.5 Trituración**

Siendo el tamaño de partícula de la materia tanto orgánica como vegetal una variable que influencia el buen desempeño de la compostera, se debe triturar de tal forma que se logre el tamaño de partícula requerido.

#### **9.1.4.6 Compostaje**

Degradación de la materia en un compartimiento diseñado para proveer la aireación necesaria y el desarrollo apropiado del compost.

#### **9.1.4.7 Medición de propiedades durante el proceso**

Constante monitoreo de propiedades influyentes, para garantizar el correcto desarrollo del proceso y por ende del producto.

#### **9.1.4.8 Extracción del producto final**

Obtención del abono orgánico (compost) con las características deseadas en el tiempo deseado, vaciando el compartimiento de compostaje después del tiempo requerido para finalizar el proceso.

#### **9.1.5 Ubicación e Instalaciones**

El sitio que se escoja para el proceso de compostaje se debe adecuar, con un buen drenaje, de acceso fácil, cubierto, superficie nivelada, que este retirado de fuentes de agua. Para sistemas semi-cerrados se debe garantizar que la mezcla tenga aireación pasiva natural suficiente para que se dé la descomposición y maduración.

Las instalaciones deben contar con espacio suficiente de acuerdo al volumen total que se generó de residuos orgánicos, más un área adicional para la adecuada separación de los residuos orgánicos, y por último, se acondiciona para que estos residuos tengan un tamaño de partícula reducido y homogéneo (trituration). Todo

lo anterior es clave para propiciar las mejores condiciones y la obtención de un compost de buena calidad. (Uribe López, Vanegas Barrera, & Cardona González, 2004)

### 9.1.6 *Requerimiento de personal*

Para el funcionamiento de la planta se necesitan un total de 62 empleados (Uribe López, Vanegas Barrera, & Cardona González, 2004) distribuidos de la siguiente manera:

TIPO DE PERSONAL	Cantidad
GERENTE GENERAL	1
GERENTE DE PRODUCCIÓN	1
GERENTE DE MERCADEO	1
DIRECTOR DE CONTROL DE CALIDAD	1
REPRESENTANTE DE VENTAS	3
OPERARIO DE RECEPCIÓN DE MP	2
OPERARIO DE SELECCIÓN Y SEGREGACIÓN	40
OPERARIO DE TRITURACIÓN	1
PATINADOR	8
OPERARIO DE EMPAQUE	4

**Tabla 3:** Empleados para el funcionamiento de la planta compostaje

## 9.2 Biodigestión

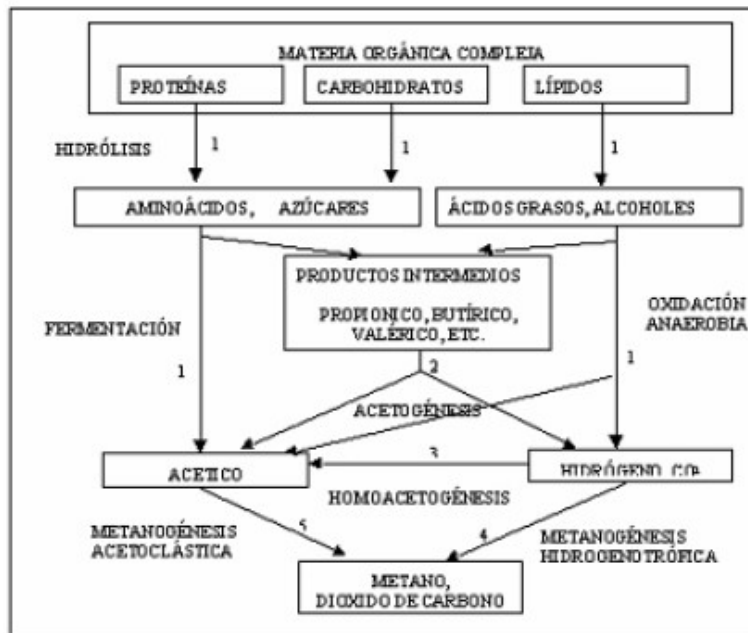
### 9.2.1 *Maquinaria y equipos*

La maquinaria y principales equipos requeridos para la obtención del producto final se nombran a continuación:

- Pozos y canales

- Tubería de transporte
- Sistema de retiro y disposición de condensados
- Sistema de soplado
- Tanque de almacenamiento

### 9.2.2 Diagrama proceso de biodigestión



**Ilustración 2:** Proceso biodigestión (Bautista Buhigas, 2010)

### 9.2.3 Materia prima

La materia prima para la producción del biogás son los residuos sólidos urbanos.

#### **9.2.4 Producción**

Todo el proceso de digestión anaerobia consta de 4 pasos de acuerdo a (Estudios y Técnicas Especializadas en Ingeniería S.A. de C.V., 2006):

##### **9.2.4.1 Recolección**

Se deben recoger todos los residuos orgánicos desde el punto de recolección y transportar hasta el lugar de acondicionamiento.

##### **9.2.4.2 Pre-tratamiento**

Se debe remover todos los residuos no degradables que van a interferir en producción de biogás. Luego de hacer una “limpieza” de los residuos, se almacenan en una tolva para ser triturados y luego pasarlos por una maya para completar el retiro de residuos plásticos y materiales de lana o algodón. Por último, se pasa por un separador magnético para retirar residuos metálicos. Después de la separación de los residuos, se procede a alimentar el reactor.

##### **9.2.4.3 Reactor de biodigestión**

Dentro del reactor ocurre la reacción de digestión anaerobia cuando las bacterias producen biogás por la descomposición de los residuos sólidos en un ambiente libre de oxígeno. Este proceso se da en tres pasos: Hidrólisis de los residuos por enzimas, conversión de los residuos descompuestos en ácidos grasos, conversión de los ácidos a metano y dióxido de carbono por las bacterias anaerobias.

Es de importancia para la digestión anaerobia mantener un ambiente óptimo para las bacterias en la conversión de los ácidos grasos. El resto del proceso es altamente dependiente de la composición y temperatura de los residuos sólidos.

#### **9.2.4.4 Almacenamiento en tanques**

Después de terminado el paso producción del biogás en el reactor se procede a almacenar el biogás en tanques para ser utilizado como generador de energía, ya sea, quemado o en turbinas.

#### **9.2.5 Ubicación e instalaciones**

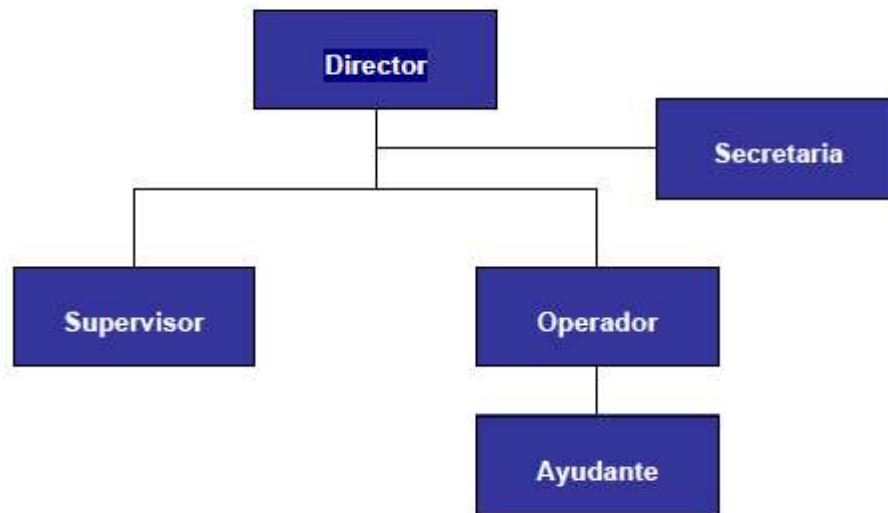
La ubicación de la planta de procesamiento de residuos sólidos urbanos por medio de digestión anaerobia (biodigestión) se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Construir en un terreno de fácil acceso y alejado de zonas residenciales: evitar contaminación por malos olores, que se tenga capacidad de ampliación en un futuro.
- Se debe garantizar un flujo constante de la materia prima que llega y la salida de producto final.

#### **9.2.6 Requerimientos de personal**

Para el funcionamiento de la planta se necesitan un total de 7 empleados, director, secretaría, supervisor, 2 operarios y 2 ayudantes (Estudios y Técnicas

Especializadas en Ingeniería S.A. de C.V., 2006) como se muestra en la siguiente estructura:



**Ilustración 3:** Empleados para el funcionamiento en la planta de producción de biogás por digestión anaerobia (Estudios y Técnicas Especializadas en Ingeniería S.A. de C.V., 2006)

### **9.3 Gasificación por plasma**

#### **9.3.1 Insumos**

Para la correcta producción del biogás en el proceso de gasificación por plasma se requiere de coque metalúrgico y caliza, los cuales deben ser alimentados al mismo tiempo con los residuos. El coque absorbe la energía calórica de las corrientes de plasma y ayuda mantener la entrada del calor en el reactor a liberar calor adicional al consumirse. La caliza controla las propiedades del slag al derretirse asegurando un flujo satisfactorio de características y la vitrificación del slag sea completa. (Monje Cillero, 2012)

#### **9.3.2 Materia prima**

La materia prima para la producción del syngas son los residuos sólidos urbanos (RSU).

### 9.3.3 Diagrama proceso de gasificación por plasma

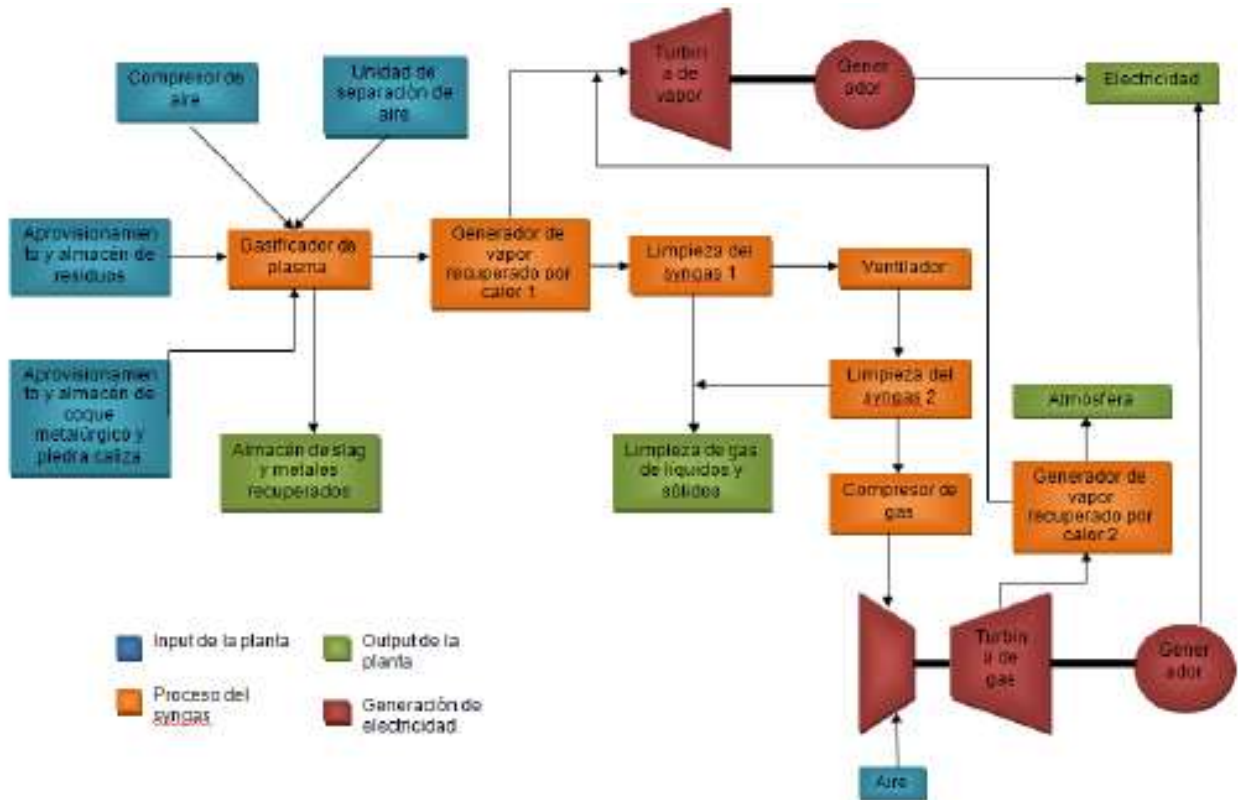


Ilustración 4: Proceso de gasificación por plasma (Monje Cillero, 2012).

### 9.3.4 Producción

#### 9.3.4.1 Recolección

Se deben recoger todos los residuos orgánicos desde el punto de recolección y transportar hasta el lugar de acondicionamiento.

#### **9.3.4.2 Control y pre-tratamiento de los residuos**

Los residuos se almacenan cubierto por un periodo pequeño. Desde este lugar se dividirán los lotes para procesar en el reactor de gasificación y se controla la alimentación al sistema. Estos lotes de residuos se deben poner junto con el coque y la caliza en la banda transportadora que los lleva a la tolva que está acoplada para la alimentación al reactor de gasificación.

#### **9.3.4.3 El reactor de gasificación**

Las reacciones de gasificación convertirán los residuos sólidos urbanos en gas de síntesis.

#### **9.3.4.4 Unidad de separación de aire**

El reactor de gasificación requiere de una entrada de oxígeno independiente, la cual se utiliza una unidad criogénica de separación de aire que produce una corriente líquida rica en oxígeno (95%). Se debe garantizar la pureza del oxígeno igual o superior al 95% para reducir la cantidad de nitrógeno en el syngas.

#### **9.3.4.5 Limpieza del gas de síntesis**

El gas de síntesis o syngas producido en el reactor de gasificación sale con contaminantes que se deben eliminar antes de ser utilizado. Normalmente el syngas crudo puede contener:

- Polvo de carbón, sales metálicas y compuestos metálicos.

- Gotas de alquitrán, líquidos y aerosoles, incluyendo metales volátiles como mercurio y cadmio.
- Carbonilos de metal.
- Gases alógenos como HCl, HF y HBr
- Sulfuros
- Nitrógenos

#### **9.3.4.6 Almacenamiento en tanques**

Después de la limpieza el syngas, se almacena en tanques para ser utilizado ya sea alimentando turbinas para la producción de energía o para la venta como materia prima para la producción industrial de amonio.

#### **9.3.5 Maquinaria y equipos**

La maquinaria y principales equipos requeridos para la obtención del producto final se nombran a continuación:

- Cinta transportadora
- Tolva
- Sistema de arco de plasma
- Unidad de separación de aire
- Compresor del syngas y sistema de limpieza
- Tanque de almacenamiento

### 9.3.6 *Ubicación e instalaciones*

La ubicación de la planta de procesamiento de residuos sólidos urbanos por medio de gasificación por plasma se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Construir en un terreno de fácil acceso y alejado de zonas residenciales: evitar contaminación por ruido y malos olores, que se tenga capacidad de ampliación en un futuro.
- Se debe garantizar un flujo constante de la materia prima que llega y la salida de producto final.

### 9.3.7 *Requerimientos de personal*

Para el funcionamiento de la planta se necesitan un total de 50 empleados distribuidos de la siguiente manera:

Cargo	Número de empleados
Jefe de planta	1
Responsable de comercialización	1
Jefe de mantenimiento	1
Capataz	4
Administrativo	4
Operario	25
Seguridad	2
Limpieza	4

**Tabla 4:** Empleados para el funcionamiento de la planta gasificación-pirólisis (Monje Cillero, 2012).

## **10 ESTUDIO ECONÓMICO**

Para demostrar que el funcionamiento del análisis comparativo de proyectos es adecuado y funciona para los proyectos de esta índole, se utiliza información de los casos de estudio para las diferentes tecnologías y/o procesos tratadas en este proyecto, para poner a prueba el análisis comparativo de proyectos, teniendo en cuenta las suposiciones para ajustar algunos valores.

Aquí, se lista la información económica tomada de estos casos de estudio, la cual fue necesaria para introducir los valores de las variables de entrada que requería cada proyecto, y que son esenciales para el correcto funcionamiento del análisis comparativo de proyectos utilizando evaluación financiera.

### **10.1 Insumos y maquinaria**

Como se mencionó anteriormente, la totalidad de los valores registrados fueron tomados de los tres casos de estudio que se trabajan en este proyecto: compostaje, biodigestión y gasificación.

Para el valor asignado a un kWh de energía eléctrica se consultó la web de EPM del mes de agosto de 2015 del mercado regulado, donde se toma el valor que allí se encuentra en las tarifas no residenciales (Industrial y comercial).

Tarifas y Costo de Energía Eléctrica - Mercado Regulado - agosto de 2015				
Información Monomía				
Activos B.T. / Conectados a nivel II		Propiedad EPM	Compartido	Propiedad Cliente
<b>Tarifa Residencial</b>		<b>Nivel I - \$/kWh</b>		
<b>Estrato 1.</b>	Rango 0 - CS	173.20	166.33	160.09
	Rango > CS	412.73	396.61	380.49
<b>Estrato 2.</b>	Rango 0 - CS	216.50	207.91	200.12
	Rango > CS	412.73	396.61	380.49
<b>Estrato 3.</b>	Rango 0 - CS	350.82	337.12	323.42
	Rango > CS	412.73	396.61	380.49
<b>Estrato 4.</b>	Todo el consumo	412.73	396.61	380.49
<b>Estrato 5 y 6.</b>	Todo el consumo	495.27	475.93	456.59
<b>Tarifa No Residencial</b>		<b>Nivel I - \$/kWh</b>		
Industrial y Comercial		495.27	475.93	456.59
ESPD*		454.00	436.27	418.54
Oficial y Exentos de Contribución		412.73	396.61	380.49

**Tabla 5:** Tarifas y costos de energía eléctrica - Mercado regulado (EPM, 2015)

El valor de los residuos orgánicos o sólidos urbanos se les asigna un valor de cero pesos (0) antes de su recogida y acondicionamiento, para el ingreso a los procesos de tratamiento. El valor asignado de cero pesos a los residuos, se da, porque los residuos sólidos urbanos están disponibles sin ningún costo antes de ser tratados en los lugares de disposición final. Sin embargo, **en el modelo de análisis comparativo, hay una variable para el valor por kilogramo de los residuos orgánicos en la tabla de insumos, que se puede modificar, en caso tal, se genere un valor por estos residuos.**

Después de recogidos los residuos orgánicos quedan cargados con un costo de transporte y recolección, por lo cual, en la tabla de insumos aparece como residuo orgánico recolectado. Seguido a la llegada al punto de recepción se procede a preparar la materia prima (residuos) mediante un acondicionamiento (retirar residuos no orgánicos). Al terminar esta etapa, los residuos orgánicos recolectados

se les cargan el valor de acondicionamiento quedando con la etiqueta de residuos orgánicos acondicionados. Estos valores cargados a los residuos orgánicos se encuentran explicados más adelante en el numeral 10.3 Costos unitarios.

	INSUMO	COSTO
<b>GENERAL</b>	Volqueta	\$ 25.000,00
	Retroexcavadora	\$ 50.000,00
	Montacargas	\$ 15.050,00
	Residuo Orgánico	\$ 0,00
	Energía eléctrica	\$ 457,00
	Residuos orgánicos acondicionado	\$ 4,20
	Residuo orgánico recolectado	\$ 1,21

<b>COMPOSTAJE</b>	Aserín	\$ 0,00
<b>GASIFICACIÓN-PIRÓLISIS</b>	Coque metálico	\$ 265,76
	Polvo de caliza	\$ 19,76
<b>BIODIGESTION</b>	Aire	\$ 0,00
	Inóculo	\$ 0,00

<b>INVERSIONES</b>	Bomba de riego compostaje	\$ 420.000,00	28.800,00	\$ 14,58	Compostaje
	Extractor de aire compostaje	\$ 1.500.000,00	28.800,00	\$ 52,08	Compostaje
	Tolva de recepción instalaciones compostaje	\$ 45.300.000,00	28.800,00	\$ 1.572,92	Compostaje
	Tolva empaque compostaje	\$ 2.100.000,00	28.800,00	\$ 72,92	Compostaje
	Equipo de seguridad industrial compostaje	\$ 415.280,00	28.800,00	\$ 14,42	Compostaje
	Silla de segregación compostaje	\$ 350,00	28.800,00	\$ 0,01	Compostaje
	Motobomba compostaje	\$ 420.000,00	28.800,00	\$ 14,58	Compostaje
	Carretilla compostaje	\$ 110.000,00	28.800,00	\$ 3,82	Compostaje
	Lona protectora compostaje	\$ 60.000,00	28.800,00	\$ 2,08	Compostaje
	Estiba compostaje	\$ 24.940,00	28.800,00	\$ 0,87	Compostaje
	Caneca 55 gal. Compostaje	\$ 54.175,00	28.800,00	\$ 1,88	Compostaje
	Tubería compostaje	\$ 6.309,00	28.800,00	\$ 0,22	Compostaje
	Puente grúa compostaje	\$ 25.000.000,00	28.800,00	\$ 868,06	Compostaje
	Tolva de acopio compostaje	\$ 41.500.000,00	28.800,00	\$ 1.440,97	Compostaje
	Banda transportadora para segregación compostaje	\$ 20.880.000,00	28.800,00	\$ 725,00	Compostaje
	Trituradora compostaje	\$ 22.000.000,00	28.800,00	\$ 763,89	Compostaje
	Elevador de canchales compostaje	\$ 4.060.000,00	28.800,00	\$ 140,97	Compostaje
	Empacadora compostaje	\$ 9.500.000,00	28.800,00	\$ 329,86	Compostaje
	Construcciones y edificaciones compostaje	\$ 1.062.305.934,00	14400,00	\$ 73.771,25	Compostaje
	Cintas transportadora gasificación	\$ 5.200.000,00	28.800,00	\$ 180,56	Gasificación-Pirólisis
	Tolva gasificación	\$ 39.000.000,00	28.800,00	\$ 1.354,17	Gasificación-Pirólisis
	Sistema de arco de plasma gasificación	\$ 54.398.864,00	28.800,00	\$ 1.888,85	Gasificación-Pirólisis
	Unidad de separación de aire gasificación	\$ 3.100.448.000,00	28.800,00	\$ 107.654,44	Gasificación-Pirólisis
	Compresor de biogas y sistema de limpieza gasificación	\$ 4.169.256.000,00	28.800,00	\$ 144.765,83	Gasificación-Pirólisis
	Tanque de almacenamiento gasificación	\$ 147.000.000,00	28.800,00	\$ 5.104,17	Gasificación-Pirólisis
	Construcciones y edificaciones gasificación	\$ 6.643.000.000,00	14400,00	\$ 461.319,44	Gasificación-Pirólisis
	Sistemas de captación biodigestión	\$ 137.200.000,00	28.800,00	\$ 4.763,89	Biodigestión
	Sistemas de conducción biodigestión	\$ 73.500.000,00	28.800,00	\$ 2.552,08	Biodigestión
	Extracción biodigestión	\$ 49.000.000,00	28.800,00	\$ 1.701,39	Biodigestión
	Bomba para lixiviados biodigestión	\$ 61.250.000,00	28.800,00	\$ 2.126,74	Biodigestión
	Equipo de monitoreo y verificación biodigestión	\$ 61.250.000,00	28.800,00	\$ 2.126,74	Biodigestión
	Biodigestor	\$ 245.000.000,00	28.800,00	\$ 8.506,94	Biodigestión
	Tanque de almacenamiento biodigestión	\$ 147.000.000,00	28.800,00	\$ 5.104,17	Biodigestión
	Construcciones y edificaciones biodigestión	\$ 1.062.305.934,00	14400,00	\$ 73.771,25	Biodigestión

**Tabla 6:** Insumos y maquinaria del análisis

Los valores en pesos suministrados en la anterior tabla, se toman de los casos de estudio analizados en este proyecto.

Para los insumos generales se toma de (Uribe López, Vanegas Barrera, & Cardona González, 2004), los valores por hora de la volqueta, retroexcavadora y montacargas. El valor de la energía eléctrica, se toma de la tabla de valores de energía de EPM y los valores de los diferentes residuos orgánicos se toman de las tablas de costo unitario del análisis comparativo.

Los insumos para la gasificación-pirólisis los valores se toman de (Arboleda Rave, 2015) para el coque metálico y el polvo de caliza; el aire no tiene ningún valor, ya que se obtiene del ambiente.

Por último, los valores de inversiones se toman de los casos de estudio desarrollados en el proyecto: compostaje (Uribe López, Vanegas Barrera, & Cardona González, 2004), biodigestión (Estudios y Técnicas Especializadas en Ingeniería S.A. de C.V., 2006), y gasificación-pirólisis (Arboleda Rave, 2015).

## **10.2 Inversión inicial para cada proceso**

Esta inversión, representa los costos en los que se debe incurrir para la puesta en marcha de los proyectos antes de comenzar a funcionar. Estos costos incluyen los estudios, adquisición del terreno, la obra civil (construcciones), la maquinaria y equipos, y otras inversiones necesarias. Cada valor fue tomado de los casos de estudio según la tecnología y/o proceso, y se encuentran registrados en el análisis comparativo en la pestaña de inversiones.

Para el inicio del proyecto biodigestión, se requiere una inversión inicial de \$6.258'605.934,00 de pesos, distribuidos de la siguiente forma:

<b>BIODIGESTIÓN</b>							
	<b>TIPO ACTIVO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>	<b>VIDA ÚTIL (Años)</b>	<b>DEPRECIACIÓN</b>	<b>VALOR DE SALVAMENTO</b>
<b>INVERSIONES FIJAS</b>							
<b>No depreciables</b>							
Terrona		1,00	\$ 300.000.000,00	\$ 300.000.000,00	-	\$ 0,00	\$ 0,00
<b>Depreciables inmuebles</b>							
Construcciones y edificaciones biodigestión	Inmueble	1,00	\$ 1.062.305.934,00	\$ 1.062.305.934,00	20	\$ 53.115.296,70	\$ 0,00
		1,00	\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$ 0,00	\$ 0,00
		1,00	\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$ 0,00	\$ 0,00
		1,00	\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$ 0,00	\$ 0,00
		1,00	\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$ 0,00	\$ 0,00
		1,00	\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$ 0,00	\$ 0,00
		1,00	\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$ 0,00	\$ 0,00
		-	\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$ 0,00	\$ 0,00
		-	\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$ 0,00	\$ 0,00
<b>TOTAL</b>			\$ 0,00	\$ 1.062.305.934,00	5	\$ 53.115.296,70	\$ 0,00
<b>Depreciables maquinas y equipos</b>							
Biodigestor	Máquina y equipar	15,00	\$ 245.000.000,00	\$ 3.675.000.000,00	10	\$ 367.500.000,00	\$ 0,00
Sistema de captación biodigestión	Máquina y equipar	1,00	\$ 137.200.000,00	\$ 137.200.000,00	10	\$ 13.720.000,00	\$ 0,00
Sistema de conducción biodigestión	Máquina y equipar	1,00	\$ 73.500.000,00	\$ 73.500.000,00	10	\$ 7.350.000,00	\$ 0,00
Extracción biodigestión	Máquina y equipar	1,00	\$ 49.000.000,00	\$ 49.000.000,00	10	\$ 4.900.000,00	\$ 0,00
Equipo de monitoreo y verificación biodigestión	Máquina y equipar	1,00	\$ 61.250.000,00	\$ 61.250.000,00	10	\$ 6.125.000,00	\$ 0,00
Tanque de almacenamiento biodigestión	Máquina y equipar	1,00	\$ 147.000.000,00	\$ 147.000.000,00	10	\$ 14.700.000,00	\$ 0,00
		-	\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$ 0,00	\$ 0,00
		-	\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$ 0,00	\$ 0,00
		-	\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$ 0,00	\$ 0,00
		-	\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$ 0,00	\$ 0,00
		-	\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$ 0,00	\$ 0,00
		-	\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$ 0,00	\$ 0,00
		-	\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$ 0,00	\$ 0,00
		-	\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$ 0,00	\$ 0,00
		-	\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$ 0,00	\$ 0,00
		-	\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$ 0,00	\$ 0,00
<b>TOTAL</b>			\$ 0,00	\$ 4.142.950.000,00	5	\$ 414.295.000,00	\$ 0,00
<b>INVERSIONES DIFERIDAS</b>							
Estudiar	-	1,00	166.600.000,00	166.600.000,00	-	-	-
Costar de montaje	-	1,00	26.750.000,00	26.750.000,00	-	-	-
Imprevistos	-	1,00	50.000.000,00	50.000.000,00	-	-	-
<b>TOTAL</b>	-	-	-	253.350.000,00	-	-	-

Tabla 7: Inversiones biodigestión

Para el inicio del proyecto compostaje, se requiere una inversión inicial de \$2.245'576.790,00 de pesos, distribuidos de la siguiente forma:

COMPOSTAJE							
	TIPO DE ACTIVO	CANTIDAD	PRECIO	MONTO	IDA ÚTIL (Años)	DEPRECIACIÓN	VALOR DE SALVAMENTO
<b>INVERSIONES FIJAS</b>							
<b>NO DEPRECIABLES</b>							
Terrona		1,00	\$ 300.000.000,00	\$ 300.000.000,00	-		
<b>DEPRECIABLES INMUEBLES</b>							
Construcciones y edificaciones compartaje	Inmueble	1,00	\$ 1.062.305.934,00	\$ 1.062.305.934,00	20	\$ 53.115.296,70	\$ 0,00
			\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$ 0,00	\$ 0,00
			\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$ 0,00	\$ 0,00
			\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$ 0,00	\$ 0,00
			\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$ 0,00	\$ 0,00
<b>TOTAL</b>			\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$ 0,00	\$ 0,00
<b>DEPRECIABLES MAQUINARIA Y EQUIPO</b>							
Bomba de riego compartaje	Máquina y equipar	1,00	\$ 420.000,00	\$ 420.000,00	10	\$ 42.000,00	
Extractor de aire compartaje	Máquina y equipar	7,00	\$ 1.500.000,00	\$ 10.500.000,00	10	\$ 1.050.000,00	
Talva de recepción instalaciones compartaje	Máquina y equipar	1,00	\$ 45.300.000,00	\$ 45.300.000,00	10	\$ 4.530.000,00	
Talva empaque compartaje	Máquina y equipar	2,00	\$ 2.100.000,00	\$ 6.200.000,00	10	\$ 620.000,00	
Silla de zapa compartaje	Máquina y equipar	40,00	\$ 350,00	\$ 14.000,00	10	\$ 1.400,00	
Matabomba compartaje	Máquina y equipar	1,00	\$ 420.000,00	\$ 420.000,00	10	\$ 42.000,00	
Carretilla compartaje	Máquina y equipar	8,00	\$ 110.000,00	\$ 880.000,00	10	\$ 88.000,00	
Lana protectora compartaje	Máquina y equipar	16,00	\$ 60.000,00	\$ 960.000,00	10	\$ 96.000,00	
Ertiba compartaje	Máquina y equipar	529,00	\$ 24.940,00	\$ 13.168.320,00	10	\$ 1.316.832,00	
Caneca 55 gal. Compartaje	Máquina y equipar	40,00	\$ 54.175,00	\$ 2.167.000,00	10	\$ 216.700,00	
Tubería compartaje	Máquina y equipar	704,00	\$ 6.309,00	\$ 4.441.536,00	10	\$ 444.153,60	
Puente grúa compartaje	Máquina y equipar	1,00	\$ 25.000.000,00	\$ 25.000.000,00	10	\$ 2.500.000,00	
Talva de acopia compartaje	Máquina y equipar	3,00	\$ 41.500.000,00	\$ 124.500.000,00	10	\$ 12.450.000,00	
Banda transportadora para zapa compartaje	Máquina y equipar	4,00	\$ 20.880.000,00	\$ 83.520.000,00	10	\$ 8.352.000,00	
Trituradora compartaje	Máquina y equipar	2,00	\$ 22.000.000,00	\$ 44.000.000,00	10	\$ 4.400.000,00	
Elevador de conillones compartaje	Máquina y equipar	3,00	\$ 4.060.000,00	\$ 12.180.000,00	10	\$ 1.218.000,00	
Empacadora compartaje	Máquina y equipar	1,00	\$ 9.500.000,00	\$ 9.500.000,00	10	\$ 950.000,00	
			\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$ 0,00	
			\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$ 0,00	
			\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$ 0,00	
			\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$ 0,00	
<b>TOTAL</b>			\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$ 0,00	
<b>INVERSIONES DIFERIDAS</b>							
Gastos de arranque	-	1,00	1.641.000,00	1.641.000,00	-	-	
	-	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	
<b>TOTAL</b>	-	-	-	1.641.000,00	-	-	

Tabla 8: Inversiones compostaje

Para el inicio del proyecto gasificación-pirólisis, se requiere una inversión inicial de \$29.088'502.864,00 de pesos, distribuidos de la siguiente forma:

<b>GASIFICACIÓN-PIRÓLISIS</b>							
	TIPO ACTIVO	CANTIDAD	PRECIO	MONTO	VIDA ÚTIL (hora)	DEPRECIACIÓN ANUAL	VALOR DE SALVAMENTO
<b>INVERSIONES FIJAS</b>							
<b>No depreciables</b>							
Terreno		1,00	\$ 800.000.000,00	\$ 800.000.000,00	-		
<b>Depreciables inmuebles</b>							
Construcciones y edificaciones gasificación	Inmueble	1,00	\$ 6.643.000.000,00	\$ 6.643.000.000,00	20	\$332.150.000,00	\$0,00
		-	\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$0,00	\$0,00
		-	\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$0,00	\$0,00
		-	\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$0,00	\$0,00
		-	\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$0,00	\$0,00
		-	\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$0,00	\$0,00
				<b>\$ 6.643.000.000,00</b>		<b>\$332.150.000,00</b>	
<b>Depreciables maquinaria y equipos</b>							
Cintas transportadora gasificación	Máquinas y equipos	2,00	\$ 5.200.000,00	\$ 10.400.000,00	10	\$1.040.000,00	\$0,00
Tolva gasificación	Máquinas y equipos	2,00	\$ 39.000.000,00	\$ 78.000.000,00	10	\$7.800.000,00	\$0,00
Sistema de arco de plasma gasificación	Máquinas y equipos	1,00	\$ 54.398.864,00	\$ 54.398.864,00	10	\$5.439.886,40	\$0,00
Unidad de separación de aire gasificación	Máquinas y equipos	1,00	\$ 3.100.448.000,00	\$ 3.100.448.000,00	10	\$310.044.800,00	\$0,00
Compresor de biogas y sistema de limpieza de	Máquinas y equipos	1,00	\$ 4.163.256.000,00	\$ 4.163.256.000,00	10	\$416.325.600,00	\$0,00
Tanque de almacenamiento gasificación	Máquinas y equipos	1,00	\$ 147.000.000,00	\$ 147.000.000,00	10	\$14.700.000,00	\$0,00
			\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$0,00	\$0,00
			\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$0,00	\$0,00
			\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$0,00	\$0,00
			\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$0,00	\$0,00
			\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$0,00	\$0,00
			\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$0,00	\$0,00
			\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$0,00	\$0,00
			\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$0,00	\$0,00
			\$ 0,00	\$ 0,00	5	\$0,00	\$0,00
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 21.645.502.864,00</b>		<b>*****</b>	<b>\$0,00</b>
<b>INVERSIONES DIFERIDAS</b>							
Estudios	-	1,00	\$ 52.000.000,00	\$ 52.000.000,00	-	-	-
Gastos de montaje	-	1,00	\$ 1.846.000.000,00	\$ 1.846.000.000,00	-	-	-
Imprevistos	-	1,00	\$ 50.000.000,00	\$ 50.000.000,00	-	-	-
<b>TOTAL</b>	-	-		<b>\$ 1.948.000.000,00</b>	-	-	-

**Tabla 9:** Inversiones gasificación-pirólisis

En las tablas de inversiones presentadas arriba para cada proceso, vienen incluidas las depreciaciones y vida útil de las máquinas y equipos (activos), de acuerdo con el artículo 2 del Decreto 3019 de 1989 (el cual sigue vigente hasta la fecha) así:

## DEPRECIACIONES

ACTIVO	VIDA ÚTIL AÑOS	VIDA ÚTIL MESES	VIDA ÚTIL DÍAS	VIDA ÚTIL HORAS
<b>Inmueble</b>	20	240	7200	57600
<b>Máquinas y equipos</b>	10	120	3600	28800
<b>Vehículos automotores</b>	5	60	1800	14400

**Tabla 10:** Depreciaciones activos proyectos

Esta tabla, se encuentra en el análisis comparativo en la pestaña de *inversiones*.

El método que se utiliza para la depreciación de los activos, es el de línea recta, ya que es el más sencillo y consiste en dividir el valor del activo entre la vida útil del mismo:

$$Depreciación = \frac{\text{valor del activo}}{\text{vida útil del activo}}$$

Además de la vida útil, existe otro concepto conocido como valor de salvamento, que es el valor que se calcula para vender el activo una vez finalizada la vida útil, para nuestro caso, no se tuvo en cuenta el valor de salvamento.

### 10.3 Costos unitarios

Como se mencionó anteriormente, al ser recolectados y transportados los residuos orgánicos, se le van asignando costos al pasar por los procesos. A continuación, se presentan las tablas donde a los residuos se le van asignando costos hasta el momento antes de entrar al proceso de transformación.

Más adelante se encuentran las tablas con la información del valor de producir un kilogramo de compost en el proceso de compostaje, el valor de producir un metro cúbico (m3) de biogás en el proceso de biodigestión, y, por último, el valor de producir un metro cúbico (m3) de biogás en el proceso de gasificación.

RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE									
MAPA GENERAL									
ENTRADA					SALIDA				
Descripción ítem	Cantidad	Unidad	Precio	Costo	Proceso	Descripción actividad	Cantidad	Unidad	Precio
Volqueta	8	Horas máquina	\$ 25.000,00	\$ 200.000,00	Se transportan los materiales desde la generación hasta la zona de acondicionamiento.	Residuo Orgánico Recolectado	213.000	Kilogramos	\$ 1,21
Tolva de acopio compostaje	32	Horas máquina	\$ 1.440,97	\$ 46.111,11					
Tolva de recepción instalaciones compostaje	8	Horas máquina	\$ 1.572,92	\$ 12.583,33					
Residuo Orgánico	213000	Kg	\$ 0,00	\$ 0,00					
	0		\$ 0,00	\$ 0,00					
	0								
	0								
	0								
	0								
	0		\$ 0,00	\$ 0,00					
			TOTAL	258.694,44			TOTAL		1,21

**Tabla 11:** Recolección y transporte

De acuerdo a la tabla anterior, se puede decir que recolectar y transportar un kilogramo de residuo orgánico tiene un valor de COP\$1,21. Este valor es asignado como residuo orgánico recolectado para el acondicionamiento.

ACONDICIONAMIENTO									
ENTRADA					SALIDA				
Descripción ítem	Cantidad	Unidad	Precio	Costo	Proceso	Descripción actividad	Cantidad	Unidad	Precio
Residuo Orgánico Recolectado	213.000	Kg	\$ 1,21	\$ 258.694,44	Se acondicionan los residuos orgánicos para ser introducidos dependiendo del proceso al secador o directamente a el proceso.	Residuos orgánicos triturados	210.870,00	Kilogramos	\$ 4,20
Equipo de seguridad industrial compostaje	8	Horas máquina	\$ 14,42	\$ 115,36		Aprovechamiento		99%	
Silla de segregación compostaje	8	Horas máquina	\$ 0,01	\$ 0,10					
Banda transportadora para segregación compostaje	32	Horas máquina	\$ 725,00	\$ 23.200,00					
Elevador de canchales compostaje	8	Horas máquina	\$ 140,97	\$ 1.127,78					
Trituradora compostaje	16	Horas máquina	\$ 763,89	\$ 12.222,22					
Construcciones y edificaciones compostaje	8	Horas construcción	\$ 73.771,25	\$ 590.169,96					
Extractor de aire compostaje	8	Horas máquina	\$ 52,08	\$ 416,67					
	0		\$ 0,00	\$ 0,00					
	0		\$ 0,00	\$ 0,00					
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 885.946,53</b>			<b>TOTAL</b>		<b>4,20</b>

**Tabla 12: Acondicionamiento**

Al terminar el acondicionamiento de los residuos orgánicos recolectados, estos residuos quedan con un valor por kilogramo de COP\$4,20. Este valor es asignado como residuo orgánico acondicionado, listo para entrar ya sea, a compostaje, biodigestión o gasificación.

COMPOSTAJE									
ENTRADA					SALIDA				
Descripción ítem	Cantidad	Unidad	Precio	Costo	Proceso	Descripción actividad	Cantidad	Unidad	Precio
Residuos orgánicos acondicionado	210.870,00	Kg	\$ 4,20	\$ 885.946,53	Se realiza el proceso de compostaje para producir compost.	Compost	69587,1	Kg	\$ 23,09
Caretilla compostaje	8	Horas máquina	\$ 3,82	\$ 30,56					
Estiba compostaje	8	Horas máquina	\$ 0,87	\$ 6,93					
Caneca 55 gal. Compostaje	8	Horas máquina	\$ 1,88	\$ 15,08					
Construcciones y edificaciones compostaje	8	Horas construcción	\$ 73.771,25	\$ 590.169,96					
Aserrín	2000	Kg	\$ 0,00	\$ 0,00					
Lona protectora compostaje	8	Horas máquina	\$ 2,08	\$ 16,67					
Puente grúa compostaje	8,00	Horas máquina	\$ 868,06	\$ 6.944,44					
Tolva empaque compostaje	8	Horas máquina	\$ 72,92	\$ 583,33					
Bomba de riego compostaje	8	Horas máquina	\$ 14,58	\$ 116,67					
Empacadora compostaje	8	Horas máquina	\$ 329,86	\$ 2.638,89					
Motobomba compostaje	8	Horas máquina	\$ 14,58	\$ 116,67					
Montacargas	8	Horas máquina	\$ 15.050,00	\$ 120.400,00					
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1.606.985,69</b>			<b>TOTAL</b>		<b>23,09</b>

**Tabla 13: Compostaje**

Al pasar los residuos orgánicos acondicionados por el proceso de compostaje, de acuerdo a la tabla anterior, se dice que producir un kilogramo de compost tiene un valor de COP\$29,09. Se puede observar que el rendimiento del proceso de compostaje es por cada 3.33 toneladas se consigue una tonelada de compost como se mencionó anteriormente en el numeral 9. *Estudio técnico*, es decir,



Al pasar los residuos orgánicos acondicionados por el proceso de gasificación, de acuerdo a la tabla anterior, se dice que producir un metro cúbico (m<sup>3</sup>) de biogás tiene un valor de COP\$81,02. Se puede observar que el rendimiento del proceso de gasificación es por cada tonelada de residuos voy a conseguir 480m<sup>3</sup> de biogás como se mencionó anteriormente en el numeral 9. *Estudio técnico*.

#### **10.4 Costos y gastos**

Como parte fundamental en la construcción de un análisis comparativo de proyectos utilizando evaluación financiera, los costos y los gastos, afectarán directamente la utilidad. Por cada tecnología que se trabaja en este proyecto, se presentan los costos y los gastos a continuación:

##### **Costos**

Como se ha mencionado a lo largo de todo el documento, todos estos valores se tomaron de los tres casos de estudio –descritos en el numeral 2. *Casos de estudio-* que se escogieron para poner a prueba el análisis comparativo.

<b>COMPOSTAJE</b>				
<b>ITEM</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO</b>	<b>TOTAL</b>
<b>SERVICIOS PÚBLICOS</b>	\$/mes	12	\$ 3.920.485,00	\$ 47.045.820,00
<b>SEGUROS</b>	\$/mes	12	\$ 1.085.349,00	\$ 13.024.188,00
<b>BOLSA DE PROPILENO</b>	\$/unidad	466400	\$ 265,00	\$ 123.596.000,00
<b>PLÁSTICO CUBRIMIENTO PATIO</b>		8448	\$ 8.000,00	\$ 67.584.000,00
<b>PLÁSTICO CUBRIMIENTO PILAS</b>		4224	\$ 9.800,00	\$ 41.395.200,00
<b>EQUIPO DE SEGURIDAD INDUSTRIAL</b>		629	\$ 16.583,00	\$ 10.430.707,00
<b>EQUIPO DE CONTROL DE CALIDAD</b>		629	\$ 18.538,00	\$ 11.660.402,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
<b>TOTAL</b>				\$ 314.736.317,00

**Tabla 16:**Costos compostaje

<b>BIODIGESTIÓN</b>				
<b>PRODUCTO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO</b>	<b>TOTAL</b>
<b>CAPACITACIÓN</b>		1	\$7.000.000,00	\$ 7.000.000,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
<b>TOTAL</b>				\$ 7.000.000,00

**Tabla 17:**Costos biodigestión

<b>GASIFICACIÓN-PIRÓLISIS</b>				
<b>PRODUCTO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO</b>	<b>TOTAL</b>
<b>SERVICIOS PÚBLICOS</b>		1	\$ 21.866.130,00	\$ 21.866.130,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
<b>TOTAL</b>				\$ 21.866.130,00

**Tabla 18:** Costos gasificación-pirólisis

## Gastos

En cada tecnología se asignaron a los gastos: los salarios del personal, los gastos administrativos y seguros, de acuerdo como se encuentra registrado en cada caso de estudio. A continuación, se presentan las tablas con sus respectivos valores:

COMPOSTAJE				
ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
GASTOS DE ADMINISTRACIÓN		1	\$ 5.400.000,00	\$ 5.400.000,00
GASTOS DE PERSONAL		1	\$ 758.158.020,00	\$ 758.158.020,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
<b>TOTAL</b>				<b>\$763.558.020,00</b>

**Tabla 19:**Gastos compostaje

BIODIGESTIÓN				
ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
PERSONAL ADMINISTRATIVO		1	\$ 96.349.300,00	\$ 96.349.300,00
PERSONAL OPERATIVO		1	\$ 40.146.500,00	\$ 40.146.500,00
GASTOS ADMINISTRATIVOS		1	\$ 3.675.000,00	\$ 3.675.000,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 140.170.800,00</b>

**Tabla 20:**Gastos biodigestión

GASIFICACIÓN-PIRÓLISIS				
ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
PERSONAL OPERATIVO		1	\$ 1.887.061.800,00	\$ 1.887.061.800,00
PERSONAL ADMINISTRATIVO		1	\$ 180.960.000,00	\$ 180.960.000,00
GASTOS ADMINISTRATIVO		1	\$ 34.320.000,00	\$ 34.320.000,00
SEGUROS		1	\$ 46.800.000,00	\$ 46.800.000,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
				\$ 0,00
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 2.149.141.800,00</b>

**Tabla 21:**Gasificación gasificación-pirólisis



## 11 EVALUACIÓN FINANCIERA

Antes de iniciar con la evaluación financiera, se describen conceptos concernientes a ellos a continuación:

### 11.1 Diagrama de influencia

El diagrama de influencia es una herramienta que nos ayuda a identificar a las variables “no controlables” con sus interrelaciones.

El diagrama permite considerar todas las variables clave antes de tomar la decisión y entender cómo se impactan unas a otras y al resultado esperado (Barrilero, 2008).

### Evaluación financiera de proyectos

Es un proceso mediante el cual una vez definida la inversión inicial, los beneficios futuros y los costos durante la etapa de operación, permite determinar la rentabilidad de un proyecto. *(Gómez Salazar & Diez Benjumea, 2011)*

### Flujo de caja

Es un esquema que muestra de forma organizada los ingresos y los egresos que se registran en cada uno de los periodos de interés en un proyecto dado. Es una pieza fundamental dentro del análisis financiero del proyecto ya que posteriormente nos puede mostrar fácilmente por medio de otros indicadores que los proyectos sean viables o no. En algunas ocasiones el hecho de que un periodo nos dé pérdida

no implica necesariamente que este sea malo y es de comprender que al principio pueden dar perdida. El flujo de caja también nos sirve para estructurar los tipos de ingresos y egresos que son inherentes al proyecto, en él podemos revisar y clasificar los diferentes tipos de egresos e ingresos, tales como inversiones, prestamos, precios de venta, crecimiento/decrecimiento de demanda, impuestos, depreciaciones y otros más. (Gómez Salazar & Diez Benjumea, 2011)

### **Valor presente neto (VPN)**

Este es el método más comúnmente usado para la evaluación de proyectos, mide la rentabilidad deseada después de recuperar toda la inversión. Se adopta como criterio fundamental para la toma de decisiones en el contexto financiero, dado que dicho criterio obedece al objetivo general de maximizar las utilidades del proyecto o empresa.

Es la ganancia del inversionista por encima de lo esperado en el momento cero de la evaluación del proyecto". (Gómez Salazar & Diez Benjumea, 2011)

### **Tasa interna de retorno (TIR)**

Está definida como la tasa de interés que hace el VPN igual a cero. Este indicador (TIR) es calculado a partir de un flujo de cada periódico, trayendo todas las cantidades futuras –flujos negativos y positivos- al momento cero.

La TIR es el indicador de rentabilidad de un proyecto, lo que indica que a mayor TIR, mayor es su rentabilidad". (Gómez Salazar & Diez Benjumea, 2011)

### **Tasa interna de retorno (TIR)**

Está definida como la tasa de interés que hace el VPN igual a cero. Este indicador (TIR) es calculado a partir de un flujo de cada periódico, trayendo todas las cantidades futuras –flujos negativos y positivos- al momento cero.

La TIR es el indicador de rentabilidad de un proyecto, lo que indica que a mayor TIR, mayor es su rentabilidad”. (Gómez Salazar & Diez Benjumea, 2011)

### **Tasa interna de oportunidad (TIO)**

La TIO está definida como la tasa que el inversionista o el ente que está inyectando los recursos espera como beneficio al momento de hacer la inversión. Este valor depende del grado de riesgo y de las condiciones del mercado. Algunos aspectos a considerar son las tasas de interés, niveles de rentabilidad del sector económico al que pertenece el proyecto, el riesgo financiero, así como la experiencia, la intuición y el juicio del buen empresario (Rodríguez, 2002)

Para la estimación de esta tasa se usan dos metodologías que son las más conocidas: CAPM (Capital Asset Pricing Model) y WACC Costo promedio ponderado de capital (Weighted Average Cost of Capital). El primero se refiere a recursos propios (accionistas) y está definido de la siguiente manera:

$$Ke = Rf + (Rm - Rf)\beta$$

En donde:  $K_e$ : Costo de recursos propios,  $R_f$ : Tasa libre de riesgo,  $R_m$ : Rentabilidad del Mercado y  $\beta$ : Sensibilidad del activo frente a fluctuaciones del Mercado.

El WACC a su vez se refiere a recursos externos (acreedores), su formula de calculo es la siguiente:

$$C_k = \sum_{i=1}^n P_i C_i$$

En donde:  $C_k$ : WACC o costo promedio ponderado de capital,  $P_i$ : Peso o participación en la fente  $i$ ,  $C_i$ : Costo de financioacion de la fuente  $i$  despues de impuestos,  $n$ : número de fuentes de financiación.

### **EBITDA (Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization)**

*“El EBITDA es un indicador financiero muy poco conocido, y apenas se está conociendo y entendiendo. Sirve para determinar las ganancias o la utilidad obtenida por una empresa o proyecto, sin tener en cuenta los gastos financieros, los impuestos y demás gastos contables que no implican salida de dinero en efectivo como las depreciaciones y las amortizaciones. En otras palabras, el EBITDA nos dice: hasta aquí el proyecto es rentable, y en adelante, dependerá de su gestión que el proyecto sea viable o no.*

*La principal utilidad que nos presenta el EBITDA, es que nos muestra los resultados de un proyecto sin considerar los aspectos financieros ni los tributarios. Algo importante puesto que estos dos aspectos, se pueden analizar por separado, y que, si se pueden manejar o administrar, no deben afectar para nada el desarrollo del proyecto y su resultado final” (Gerencie, 2016).*

Después de definir los anteriores conceptos, se entra en materia con la evaluación financiera:

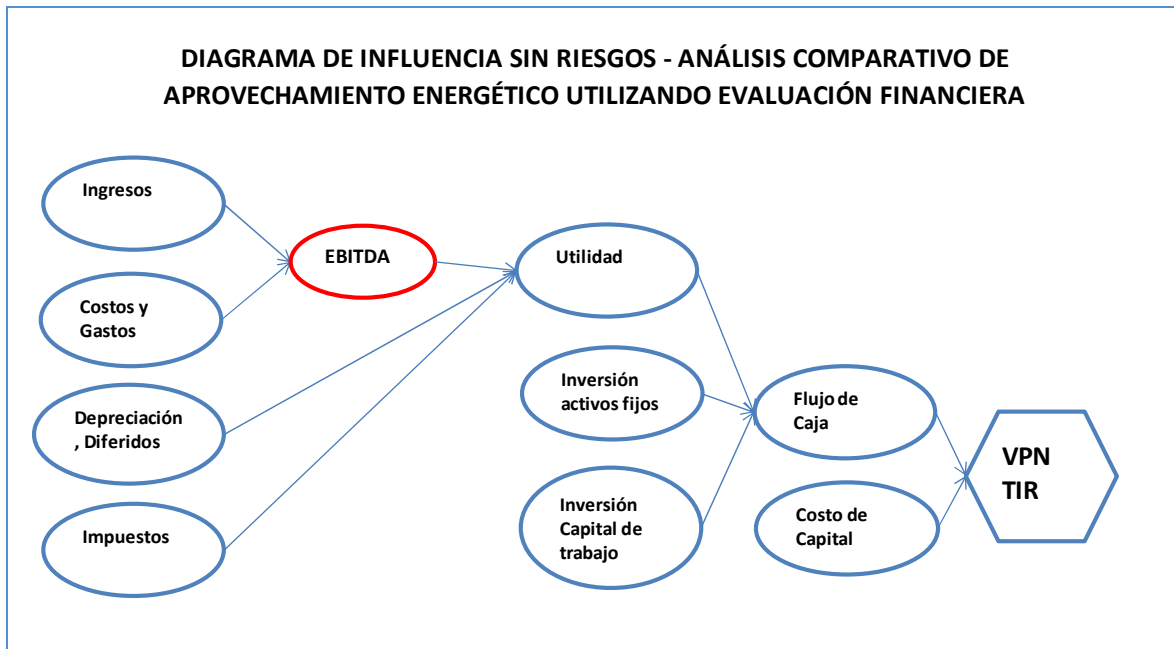
El análisis comparativo de proyectos utilizando evaluación financiera está compuesto por 7 pestañas que se listan y explican en el siguiente mapa general:

MAPA GENERAL	CONTENIDO PESTAÑAS DEL ANÁLISIS COMPARATIVO
<a href="#"><u>Datos de entrada</u></a>	Información para cada tecnología y/o proceso los insumos y maquinaria requerida. Aquí se consignan los costos por unidad de los insumos. Para las inversiones sea maquinaria, equipo y/o construcciones se tiene el costo por unidad y la depreciación sí aplica.
<a href="#"><u>Inversiones</u></a>	Información para cada tecnología y/o proceso de las inversiones con la cantidad y el monto total de las inversiones y depreciaciones sí aplica.
<a href="#"><u>Costos unitarios</u></a>	Información para cada tecnología y/o proceso de los costos unitario para la obtención de una unidad de producto. Se muestra los costos que se cargan al producto final para la obtención de estos.
<a href="#"><u>Costos y Gastos</u></a>	Información para cada tecnología y/o proceso del préstamo (monto, plazo, tasa de interés), precio de venta del producto final (mínimo y máximo), costos fijos, gastos fijos.
<a href="#"><u>Base determinística</u></a>	Información para cada tecnología y/o proceso del flujo de caja determinístico y amortización del crédito.
<a href="#"><u>Base con Riesgos</u></a>	Información para cada tecnología y/o proceso del flujo de caja con análisis de riesgo (eventos que afectan variables como precio de venta, producción y costos variables) y amortización del crédito.
<a href="#"><u>Análisis de riesgos</u></a>	Información para cada tecnología y/o proceso se muestra impacto real de los eventos si ocurren en dinero y cómo afectan estos eventos el VPN del proyecto.

**Tabla 22:** Mapa general del análisis comparativo de proyectos utilizando evaluación financiera

## 11.2 Diagrama de influencia sin riesgos

A continuación, se presenta el diagrama de influencia para el análisis determinístico, donde se muestra las relaciones que hay entre las variables económicas y financieras:



**Ilustración 6:** Diagrama de influencia sin riesgos

Antes de iniciar con el análisis comparativo de proyectos utilizando evaluación financiera, se debe mostrar los valores de entrada tales como: producción esperada, lotes producidos por año, precio de venta máximo y mínimo, gradiente de crecimiento de la demanda, crecimiento mínimo de precio de venta y crecimiento máximo de precio de venta, el impuesto CREE, impuesto de renta, porcentaje de

comisión sobre ventas, inflación y la TIO, todo lo anterior, para cada tecnología propuesta en este proyecto.

Estas entradas son el punto de partida para el desarrollo del análisis comparativo, es por eso que se analizan en mayor profundidad con sus respectivos valores.

- La producción esperada para cada proyecto se extrae de las tablas de costo unitario de cada tecnología. (ver tablas de costos unitarios para cada proyecto Tabla 13, Tabla 14 y Tabla 15)
- De acuerdo con el *informe sobre inflación del 22 de agosto de 2016*, la Junta Directiva del Banco de la República (JDBR), define metas cuantitativas de inflación para el año en curso y el siguiente. Las acciones de política de la JDBR están encaminadas a cumplir la meta de cada año y a situar la tasa de inflación alrededor de **3%** en el largo plazo. (BanRep, 2016)
- De acuerdo con la página web de la DIAN, la reforma tributaria de 2012 generó el CREE (impuesto sobre la renta para la equidad), sustituyendo las contribuciones parafiscales que realizan las empresas al contratar trabajadores. Se fija una tarifa para el CREE del **9%** (DIAN, 2014).
- De acuerdo con la página web de la DIAN, los contribuyentes del impuesto sobre la renta, a partir del año 2013 se disminuyó de 33% a **25%**, lo anterior, para equilibrar la tasa contributiva con el CREE (DIAN, 2014b).
- Según (UPME, 2012), a principios de los 1980s, la matriz eléctrica colombiana ha mantenido una composición similar en 30 años con un 80% aportado por la generación hidroeléctrica y con un 20% energía térmica

(carbón y biogás). La utilización del biogás pasó de 5% al 16,48% gracias al programa de masificación del biogás. Por lo anterior, definimos un crecimiento de la demanda de **10%** para las tres tecnologías.

- De acuerdo con la serie histórica del IPC (índice de precios al consumidor), en la página web del Banco de la República, entre los años 2012 y 2016 la variación por año se ha ubicado aproximadamente entre 3,5% y 7,93%. Por lo anterior, se define como crecimiento mínimo del precio de venta en **3%** y crecimiento máximo del precio de venta en **8%** (BanRep, 2012-2015)
- Se estable que el valor de las comisiones por ventas para las tres tecnologías es de 2%.
- La TIO para las tres tecnologías es de 20%. Esta se definió basado en los siguientes aspectos (es de anotar que este valor es modificable en todos los modelos):
  - Bono del tesoro EUA a 5 años: 1,77 ea.
  - CDT's en Colombia: 6,0% - 6,5% ea.
  - Rentabilidad COLCAP último año: 13,18 ea.

Bajo este punto de vista, la rentabilidad del 20% se considera aceptable, debido a que está por encima de las opciones más seguras que se encuentran en el mercado financiero y acordes con el riesgo del sector.

A continuación, se muestran las tablas con cada una de las entradas y sus respectivos valores para cada tecnología:

### 11.3 Datos entrada compostaje

		Unidad	Total Año
<b>Materia disponible/Producción esperada</b>	69.587	<b>Kg/lote</b>	22.963.743
<b>Lotes producidos por año</b>	330	<b>Lotes</b>	
<b>Precio de venta mínimo</b>	75	<b>\$/Kg</b>	
<b>Precio de venta máximo</b>	250	<b>\$/kg</b>	
<b>Gradiente de Crecimiento Demanda</b>	10%		
<b>Crecimiento mínimo precio de venta</b>	3%		
<b>Crecimiento máximo precio de venta</b>	8%		
			<a href="#">MAPA GENERAL</a>
<b>CREE</b>	9%		
<b>Impuesto de renta</b>	25%		
<b>Porcentaje comisión sobre ventas</b>	2%		
<b>Inflación</b>	3%		
<b>TIO</b>	20%		

**Tabla 23:** Datos entrada compostaje

## 11.4 Datos de entrada biodigestión

		Unidad	Total Año
Materia disponible/Producción esperada	85.200	<b>M3/lote</b>	29.820.000
Lotes producidos por año	350	<b>Lotes</b>	
Precio de venta mínimo	900	<b>\$/M3</b>	
Precio de venta máximo	1.150	<b>\$/M3</b>	
Gradiente de Crecimiento Demanda	10%		
Crecimiento mínimo precio de venta	3%		
Crecimiento máximo precio de venta	8%		
			<a href="#">MAPA GENERAL</a>
CREE	9%		
Impuesto de renta	25%		
Porcentaje comisión sobre ventas	2%		
Inflación	3%		
TIO	20%		

Tabla 24: Datos de entrada biodigestión

## 11.5 Datos de entrada gasificación-pirólisis

		Unidad	Total Año
<b>Materia disponible/Producción esperada</b>	102.240	<b>M3/lote</b>	37.317.600
<b>Lotes producidos por año</b>	365	<b>Lotes</b>	
<b>Precio de venta mínimo</b>	900	<b>\$/M3</b>	
<b>Precio de venta máximo</b>	1.150	<b>\$/M3</b>	
<b>Gradiente de Crecimiento Demanda</b>	10%		
<b>Crecimiento mínimo precio de venta</b>	3%		
<b>Crecimiento máximo precio de venta</b>	8%		
			<a href="#">MAPA GENERAL</a>
<b>CREE</b>	8%		
<b>Impuesto de renta</b>	25%		
<b>Porcentaje comisión sobre ventas</b>	2%		
<b>Inflación</b>	3%		
<b>TIO</b>	20%		

**Tabla 25:** Datos de entrada gasificación-pirólisis

## 11.6 Compostaje

El estado de resultados se proyecta a 10 años y se puede observar que desde el primer año de funcionamiento genera utilidades.

Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>ESTADO DE RESULTADOS</b>											
PRECIO DE VENTA		\$162,50	\$171,44	\$180,87	\$190,81	\$201,31	\$212,38	\$224,06	\$236,39	\$249,39	\$263,10
PRODUCCION / VENTA		22.963.743,00	25.260.117,30	27.786.129,03	30.564.741,33	33.621.216,13	36.983.337,74	40.681.671,51	44.743.838,66	49.224.822,53	54.147.304,78
INGRESOS OPERACIONALES		\$3.751.608.237,50	\$4.330.531.353,62	\$5.025.581.642,84	\$5.832.187.496,51	\$6.768.253.589,70	\$7.854.338.290,85	\$9.115.214.836,53	\$10.578.206.887,43	\$12.276.009.092,86	\$14.246.508.552,26
<b>INGRESOS TOTALES</b>		\$3.731.608.237,50	\$4.330.531.359,62	\$5.025.581.642,84	\$5.832.187.496,51	\$6.768.253.589,70	\$7.854.338.290,85	\$9.115.214.836,53	\$10.578.206.887,43	\$12.276.009.092,86	\$14.246.508.552,26
<b>COSTOS VARIABLES</b>											
COMPOSTAJE COSTOS VARIABLES		\$23,09	\$25,40	\$27,34	\$30,74	\$35,81	\$37,19	\$40,91	\$45,00	\$49,50	\$54,45
COMPOSTAJE COMISIONES POR VENTAS		\$74.632.164,75	\$86.610.627,19	\$100.511.632,86	\$116.643.743,33	\$135.365.071,73	\$157.091.165,82	\$182.304.297,93	\$211.564.137,75	\$245.520.181,86	\$284.326.171,05
COMPOSTAJE COSTOS VARIABLES TOTALES		\$604.337.442,16	\$728.260.012,68	\$876.351.589,53	\$1.056.111.897,51	\$1.272.121.530,37	\$1.532.566.480,69	\$1.846.629.428,53	\$2.225.397.546,25	\$2.682.258.606,15	\$3.233.379.664,44
<b>UTILIDAD BRUTA</b>		\$3.126.670.795,33	\$3.602.251.346,74	\$4.148.650.053,30	\$4.776.075.599,00	\$5.496.132.059,34	\$6.321.991.810,16	\$7.268.585.467,61	\$8.352.809.341,17	\$9.593.750.486,71	\$11.012.928.887,82
<b>COSTOS FIJOS</b>											
COMPOSTAJE COSTOS FIJOS TOTALES		\$314.736.317,00	\$324.178.406,51	\$355.903.758,71	\$345.920.871,47	\$354.238.437,61	\$364.865.652,54	\$375.811.622,11	\$387.085.970,78	\$398.638.549,90	\$410.659.506,40
<b>GASTOS FIJOS</b>											
COMPOSTAJE GASTOS FIJOS TOTALES		\$763.336.020,00	\$786.464.760,60	\$810.058.705,42	\$854.360.464,52	\$893.591.278,46	\$885.175.016,61	\$911.728.207,51	\$933.080.053,53	\$967.252.455,14	\$996.270.028,79
<b>EBITDA</b>		\$2.048.376.458,33	\$2.491.608.179,63	\$3.004.687.591,18	\$3.597.794.263,02	\$4.282.502.283,27	\$5.071.953.140,81	\$5.981.045.638,18	\$7.026.643.316,86	\$8.227.799.481,67	\$9.605.999.352,63
Depreciaciones		\$53.115.296,70	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40
Amortizaciones											
<b>UTILIDAD OPERATIVA (UAI) (EBIT)</b>		\$1.995.261.161,63	\$739.207.893,23	\$1.252.287.304,78	\$1.845.393.976,62	\$2.530.101.996,87	\$3.319.552.854,41	\$4.228.645.351,78	\$5.274.243.030,46	\$6.475.399.195,27	\$7.853.599.066,23

Tabla 26: Estado de resultados compostaje

### 11.6.1 Ventas compostaje

De acuerdo a la producción en kilogramos esperada de compost para la tecnología de compostaje, y suponiendo que se venda todo lo que produce, se tendrán ingresos por concepto de ventas estimadas durante los próximos 10 períodos de la siguiente manera:

Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>ESTADO DE RESULTADOS</b>											
PRECIO DE VENTA		\$162.50	\$171.44	\$180.87	\$190.81	\$201.31	\$212.38	\$224.06	\$236.39	\$249.39	\$263.10
PRODUCCION / VENTA		22,363,743.00	25,260,117.00	27,786,129.03	30,564,741.83	33,621,296.33	36,963,337.14	40,681,671.51	44,749,638.66	49,224,822.53	54,147,304.78
INGRESOS OPERACIONALES		\$3,731,608,332.50	\$4,350,531,355.62	\$5,025,581,642.84	\$5,832,187,436.51	\$6,766,353,583.70	\$7,854,558,290.85	\$9,115,214,896.53	\$10,578,206,887.43	\$12,276,009,032.86	\$14,246,308,552.26
<b>INGRESOS TOTALES</b>		\$3,731,608,332.50	\$4,350,531,355.62	\$5,025,581,642.84	\$5,832,187,436.51	\$6,766,353,583.70	\$7,854,558,290.85	\$9,115,214,896.53	\$10,578,206,887.43	\$12,276,009,032.86	\$14,246,308,552.26

**Tabla 27:** Estimación de producción y venta de compost

### 11.6.2 Flujo de caja del proyecto y resultados financieros compostaje

A continuación, se presenta la tabla del flujo de caja del proyecto compostaje:

Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Depreciación		\$3,185,296.70	1,752,400,286.40	1,752,400,286.40	1,752,400,286.40	1,752,400,286.40	1,752,400,286.40	1,752,400,286.40	1,752,400,286.40	1,752,400,286.40	1,752,400,286.40
Amortización		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Inversiones	\$2,245,576,790.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Valor Residual		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Préstamo	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Pago de Capital Préstamo		\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
<b>Flujo de Caja del Proyecto, Inversión</b>	<b>\$2,245,576,790.00</b>	<b>\$1,369,987,663.37</b>	<b>\$2,240,277,435.93</b>	<b>\$2,578,909,907.55</b>	<b>\$2,970,360,310.97</b>	<b>\$3,422,267,614.33</b>	<b>\$3,943,905,170.31</b>	<b>\$4,543,306,219.57</b>	<b>\$5,238,400,686.30</b>	<b>\$6,026,163,755.28</b>	<b>\$6,935,775,670.31</b>

**Tabla 28:** Flujo de caja compostaje

De acuerdo a la tabla de flujo de caja se puede observar que año a año el incremento es significativo.

<b>TIO</b>	<b>20%</b>
<b>YPM</b>	<b>\$10,845,808,033,04</b>
<b>TIR</b>	<b>31%</b>

**Tabla 29:** Resultados financieros compostaje

De acuerdo con los resultados que arroja el análisis determinístico para el proyecto de compostaje, se observa que presenta resultados financieros excediendo lo esperado por el inversionista.

## 11.7 Biodigestión

El estado de resultados se proyectó a 10 años y se puede observar que desde el primer año de funcionamiento genera utilidades.

Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>ESTADO DE RESULTADOS</b>											
PRECIO DE VENTA		\$1,025.00	\$1,081.38	\$1,140.85	\$1,203.60	\$1,269.80	\$1,339.63	\$1,413.31	\$1,491.05	\$1,573.05	\$1,659.57
PRODUCCION / VENTA		23,820,000.00	32,802,000.00	36,082,200.00	39,630,420.00	43,659,462.00	48,025,408.20	52,827,343.02	58,110,743.32	63,921,818.31	70,314,000.15
INGRESOS OPERACIONALES		\$30,565,500,000.00	\$35,471,262,750.00	\$41,164,400,421.58	\$47,771,286,689.01	\$55,438,578,202.59	\$64,336,470,004.11	\$74,662,473,433.77	\$86,645,800,426.85	\$100,552,451,395.36	\$116,651,119,844.51
<b>INGRESOS TOTALES</b>		\$30,565,500,000.00	\$35,471,262,750.00	\$41,164,400,421.58	\$47,771,286,689.01	\$55,438,578,202.59	\$64,336,470,004.11	\$74,662,473,433.77	\$86,645,800,426.85	\$100,552,451,395.36	\$116,651,119,844.51
<b>COSTOS VARIABLES</b>											
BIODIGESTION COSTOS VARIABLES		\$12.28	\$13.52	\$14.81	\$16.35	\$17.39	\$19.79	\$21.77	\$23.95	\$26.34	\$28.91
BIODIGESTION COMISIONES POR VENTAS		\$611,310,000.00	\$709,425,255.00	\$823,288,008.43	\$955,425,733.78	\$1,109,771,564.05	\$1,286,729,400.08	\$1,493,243,466.80	\$1,732,316,008.54	\$2,011,043,027.91	\$2,333,822,336.89
BIODIGESTION COSTOS VARIABLES TOTALES		\$977,727,126.06	\$1,152,789,917.53	\$1,359,753,322.69	\$1,604,536,024.05	\$1,834,219,215.26	\$2,237,121,058.04	\$2,643,223,374.92	\$3,124,384,434.95	\$3,694,725,623.67	\$4,371,071,320.00
<b>UTILIDAD BRUTA</b>		\$29,587,772,873.94	\$34,318,472,772.47	\$39,804,641,098.69	\$46,166,730,664.97	\$53,544,358,987.33	\$62,099,348,946.07	\$72,019,250,064.84	\$83,521,415,991.90	\$96,857,725,571.49	\$112,320,048,524.51
<b>COSTOS FIJOS</b>											
BIODIGESTION COSTOS FIJOS TOTALES		\$7,000,000.00	\$7,210,000.00	\$7,426,500.00	\$7,649,069.00	\$7,878,561.67	\$8,114,910.52	\$8,358,366.06	\$8,609,117.06	\$8,867,350.57	\$9,133,412.29
<b>GASTOS FIJOS</b>											
BIODIGESTION GASTOS FIJOS TOTALES		\$140,170,800.00	\$144,575,924.00	\$148,707,201.72	\$153,168,417.77	\$157,763,470.50	\$162,496,374.41	\$167,371,265.65	\$172,392,405.62	\$177,564,175.72	\$182,891,101.00
<b>EBITDA</b>		\$29,440,602,073.94	\$34,166,886,848.47	\$39,648,507,596.97	\$46,005,913,158.20	\$53,378,716,355.36	\$61,928,737,653.13	\$71,843,520,439.12	\$83,340,414,471.22	\$96,671,294,005.19	\$112,128,024,011.03
Depreciaciones		\$467,410,296.70	\$1,752,400,286.40	\$1,752,400,286.40	\$1,752,400,286.40	\$1,752,400,286.40	\$1,752,400,286.40	\$1,752,400,286.40	\$1,752,400,286.40	\$1,752,400,286.40	\$1,752,400,286.40
Amortizaciones											
<b>UTILIDAD OPERATIVA (UAI) (EBIT)</b>		\$28,973,191,777.24	\$32,414,486,562.07	\$37,896,107,310.57	\$44,253,512,871.80	\$51,626,316,668.96	\$60,176,337,366.73	\$70,091,120,146.72	\$81,588,014,184.82	\$94,918,893,718.79	\$110,375,623,724.63
Intereses		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Otros ingresos											
Otros egresos											
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS (UAI)</b>		\$28,973,191,777.24	\$32,414,486,562.07	\$37,896,107,310.57	\$44,253,512,871.80	\$51,626,316,668.96	\$60,176,337,366.73	\$70,091,120,146.72	\$81,588,014,184.82	\$94,918,893,718.79	\$110,375,623,724.63
Impuesto de renta (25%)		\$7,243,297,943.31	\$8,103,621,640.52	\$9,474,026,827.64	\$11,063,378,217.95	\$12,906,579,167.24	\$15,044,084,341.68	\$17,522,780,036.68	\$20,397,003,546.21	\$23,729,723,429.70	\$27,593,905,931.16
Impuesto CREE(9%)		2,607,587,259.95	2,917,303,790.59	3,410,649,657.95	3,982,816,158.46	4,646,368,500.21	5,415,870,363.01	6,308,200,813.20	7,342,921,276.63	8,542,700,434.69	9,933,806,135.22
<b>UTILIDAD NETA</b>		\$19,122,306,572.98	\$21,393,561,130.97	\$25,011,430,824.98	\$29,207,318,495.39	\$34,073,369,001.51	\$39,716,382,662.04	\$46,260,139,296.83	\$53,848,089,361.98	\$62,646,469,854.40	\$72,847,911,658.25

Tabla 30: Estado de resultados biodigestión

### 11.7.1 Ventas biodigestión

De acuerdo a la producción en metros cúbicos esperada de biogás (metano) para la tecnología de biodigestión, y suponiendo que se venda todo lo que produce, se tendrán ingresos por concepto de ventas estimadas durante los próximos 10 períodos de la siguiente manera:

Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>ESTADO DE RESULTADOS</b>											
PRECIO DE VENTA		\$1,025.00	\$1,081.38	\$1,140.85	\$1,203.60	\$1,263.80	\$1,333.63	\$1,413.31	\$1,493.05	\$1,573.05	\$1,655.57
PRODUCCION / VENTA		29,820,000.00	32,802,000.00	36,082,000.00	39,690,420.00	43,659,462.00	48,025,409.20	52,827,849.02	58,101,743.92	63,921,918.31	70,214,000.15
INGRESOS OPERACIONALES		\$30,365,500,000.00	\$35,471,262,750.00	\$41,164,400,421.38	\$47,771,266,649.01	\$55,456,576,302.59	\$64,356,470,004.11	\$74,662,473,459.77	\$86,645,600,426.85	\$100,552,451,335.26	\$116,651,119,644.31
<b>INGRESOS TOTALES</b>		<b>\$30,365,500,000.00</b>	<b>\$35,471,262,750.00</b>	<b>\$41,164,400,421.38</b>	<b>\$47,771,266,649.01</b>	<b>\$55,456,576,302.59</b>	<b>\$64,356,470,004.11</b>	<b>\$74,662,473,459.77</b>	<b>\$86,645,600,426.85</b>	<b>\$100,552,451,335.26</b>	<b>\$116,651,119,644.31</b>

**Tabla 31:** Ventas biodigestión

### 11.7.2 Flujo de caja del proyecto y resultados financieros biodigestión

A continuación, se presenta la tabla del flujo de caja del proyecto biodigestión:

Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Depreciación		467,410,336.70	1,752,400,266.40	1,752,400,266.40	1,752,400,266.40	1,752,400,266.40	1,752,400,266.40	1,752,400,266.40	1,752,400,266.40	1,752,400,266.40	1,752,400,266.40
Amortización		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Inversiones	\$6,258,605,934.00										
Valor Residual											
Préstamo	\$0.00										
Pago de Capital Préstamo		\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
<b>Flujo de Caja del Proyecto/Inversión</b>	<b>\$6,258,605,934.00</b>	<b>\$19,589,716,869.68</b>	<b>\$23,345,961,417.57</b>	<b>\$26,763,831,111.38</b>	<b>\$30,959,718,781.79</b>	<b>\$35,815,763,287.91</b>	<b>\$41,468,782,948.44</b>	<b>\$48,012,539,583.23</b>	<b>\$55,600,489,648.38</b>	<b>\$64,398,870,140.80</b>	<b>\$74,600,311,344.63</b>

**Tabla 32:** Flujo de caja biodigestión

De acuerdo a la tabla de flujo de caja se puede observar que año a año el incremento es significativo.

<b>TIO</b>	20%
<b>YPN</b>	\$135,703,490,085.87
<b>TIR</b>	330%

**Tabla 33:** Resultados financieros biodigestión

De acuerdo con los resultados que arroja el análisis determinístico para el proyecto de biodigestión, se observa que presenta resultados financieros, excediendo por un margen alto lo esperado por el inversionista.

## 11.8 Gasificación-pirólisis

El estado de resultados se proyectó a 10 años y se puede observar que desde el primer año de funcionamiento genera utilidades.

Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>ESTADO DE RESULTADOS</b>											
PRECIO DE VENTA		\$1,025.00	\$1,081.38	\$1,140.85	\$1,203.60	\$1,263.80	\$1,339.63	\$1,413.31	\$1,491.05	\$1,573.05	\$1,659.57
PRODUCCION / VENTA		37,317,600.00	41,043,360.00	45,154,236.00	49,663,725.60	54,636,636.16	60,100,367.36	66,110,404.77	72,721,445.25	79,393,583.78	87,392,348.75
INGRESOS OPERACIONALES		\$38,250,540,000.00	\$44,389,751,670.00	\$51,514,306,815.04	\$59,782,353,056.53	\$69,377,420,722.10	\$80,512,496,748.00	\$93,434,752,476.05	\$108,431,030,248.46	\$125,834,210,603.33	\$146,030,601,405.17
<b>INGRESOS TOTALES</b>		<b>\$38,250,540,000.00</b>	<b>\$44,389,751,670.00</b>	<b>\$51,514,306,815.04</b>	<b>\$59,782,353,056.53</b>	<b>\$69,377,420,722.10</b>	<b>\$80,512,496,748.00</b>	<b>\$93,434,752,476.05</b>	<b>\$108,431,030,248.46</b>	<b>\$125,834,210,603.33</b>	<b>\$146,030,601,405.17</b>
<b>COSTOS VARIABLES</b>											
GASIFICACIÓN COSTOS VARIABLES		\$81.02	\$83.12	\$86.03	\$107.84	\$118.62	\$130.48	\$143.53	\$157.88	\$173.67	\$191.04
GASIFICACIÓN COMISIONES POR VENTAS		\$765,010,000.00	\$887,135,033.40	\$1,030,286,136.26	\$1,195,641,061.13	\$1,387,548,414.44	\$1,610,243,334.95	\$1,868,635,043.52	\$2,168,620,604.37	\$2,516,684,212.07	\$2,920,612,028.10
GASIFICACIÓN COSTOS VARIABLES TOTALES		\$3,788,434,759.78	\$4,546,158,000.53	\$5,436,881,126.49	\$6,551,826,359.31	\$7,868,526,139.64	\$9,452,232,362.45	\$11,337,434,536.98	\$13,650,067,304.79	\$16,409,233,541.65	\$19,750,539,156.90
<b>UTILIDAD BRUTA</b>		<b>\$34,462,105,260.22</b>	<b>\$39,843,613,669.47</b>	<b>\$46,057,425,688.54</b>	<b>\$53,230,526,057.22</b>	<b>\$61,508,894,582.46</b>	<b>\$71,060,263,765.55</b>	<b>\$82,077,257,939.07</b>	<b>\$94,780,962,263.66</b>	<b>\$109,424,975,061.68</b>	<b>\$126,300,002,268.27</b>
<b>COSTOS FIJOS</b>											
GASIFICACIÓN COSTOS FIJOS TOTALES		\$21,866,150.00	\$22,522,115.90	\$23,197,777.52	\$23,893,710.64	\$24,610,521.96	\$25,348,837.61	\$26,109,302.74	\$26,892,381.82	\$27,699,359.28	\$28,530,340.06
<b>GASTOS FIJOS</b>											
SECADOR GASTOS FIJOS TOTALES		\$2,149,141,800.00	\$2,215,616,054.00	\$2,280,024,335.62	\$2,348,425,271.69	\$2,418,878,029.84	\$2,491,444,370.75	\$2,566,187,701.86	\$2,643,175,352.91	\$2,722,466,532.90	\$2,804,142,588.89
<b>EBITDA</b>		<b>\$32,291,097,330.22</b>	<b>\$37,607,475,501.57</b>	<b>\$43,754,203,379.61</b>	<b>\$50,881,207,074.89</b>	<b>\$59,065,406,030.67</b>	<b>\$68,543,470,557.20</b>	<b>\$79,484,960,934.47</b>	<b>\$92,110,896,348.93</b>	<b>\$106,674,807,169.50</b>	<b>\$123,467,329,339.32</b>
Depreciaciones		\$1,752,400,286.40	\$1,752,400,286.40	\$1,752,400,286.40	\$1,752,400,286.40	\$1,752,400,286.40	\$1,752,400,286.40	\$1,752,400,286.40	\$1,752,400,286.40	\$1,752,400,286.40	\$1,752,400,286.40
Amortizaciones											
<b>UTILIDAD OPERATIVA (UAI) (EBIT)</b>		<b>\$30,538,697,043.82</b>	<b>\$35,855,075,215.17</b>	<b>\$42,001,803,087.21</b>	<b>\$49,105,806,788.49</b>	<b>\$57,313,005,744.27</b>	<b>\$66,791,070,270.80</b>	<b>\$77,732,560,648.07</b>	<b>\$90,358,496,062.53</b>	<b>\$104,922,406,883.10</b>	<b>\$121,714,929,052.92</b>
Intereses		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Otros ingresos											
Otros egresos											
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS (UAI)</b>		<b>\$30,538,697,043.82</b>	<b>\$35,855,075,215.17</b>	<b>\$42,001,803,087.21</b>	<b>\$49,105,806,788.49</b>	<b>\$57,313,005,744.27</b>	<b>\$66,791,070,270.80</b>	<b>\$77,732,560,648.07</b>	<b>\$90,358,496,062.53</b>	<b>\$104,922,406,883.10</b>	<b>\$121,714,929,052.92</b>
Impuesto de renta (25%)		\$7,634,674,260.96	\$8,963,768,803.79	\$10,500,450,771.80	\$12,276,451,697.12	\$14,328,251,436.07	\$16,697,767,567.70	\$19,433,140,162.02	\$22,589,624,015.63	\$26,230,601,720.78	\$30,428,732,263.23
Impuesto CREE(9%)		2,748,482,733.34	3,226,956,769.37	3,780,162,277.85	4,419,522,610.96	5,158,170,516.98	6,011,196,324.37	6,995,930,458.33	8,132,264,645.63	9,443,016,619.48	10,954,343,614.76
<b>UTILIDAD NETA</b>		<b>\$20,155,540,048.92</b>	<b>\$23,664,349,642.01</b>	<b>\$27,721,190,037.56</b>	<b>\$32,409,832,480.41</b>	<b>\$37,826,583,791.22</b>	<b>\$44,082,106,378.73</b>	<b>\$51,303,430,027.79</b>	<b>\$59,636,607,401.27</b>	<b>\$69,248,788,542.85</b>	<b>\$80,331,853,174.93</b>

Tabla 34: Estado de resultados gasificación-pirólisis

### 11.8.1 Ventas gasificación-pirólisis

De acuerdo a la producción en metros cúbicos esperada de biogás (metano) para la tecnología de gasificación-pirólisis, y suponiendo que se venda todo lo que produce, se tendrán ingresos por concepto de ventas estimadas durante los próximos 10 períodos de la siguiente manera:

Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>ESTADO DE RESULTADOS</b>											
PRECIO DE VENTA		\$1,025.00	\$1,081.38	\$1,140.85	\$1,203.60	\$1,269.80	\$1,339.63	\$1,413.31	\$1,491.05	\$1,573.05	\$1,659.57
PRODUCCION F VENTA		37,331,630.00	41,045,360.00	45,542,296.00	49,958,125.00	54,295,636.95	58,566,361.90	62,764,604.37	66,893,593.19	70,959,593.19	74,968,540.25
INGRESOS OPERACIONALES		\$38,250,540,000.00	\$44,389,751,670.00	\$51,514,306,613.04	\$59,782,355,056.53	\$68,377,420,722.10	\$77,312,496,746.00	\$86,534,752,476.05	\$96,043,105,340.46	\$105,854,210,603.53	\$115,930,601,405.17
<b>INGRESOS TOTALES</b>		\$38,250,540,000.00	\$44,389,751,670.00	\$51,514,306,613.04	\$59,782,355,056.53	\$68,377,420,722.10	\$77,312,496,746.00	\$86,534,752,476.05	\$96,043,105,340.46	\$105,854,210,603.53	\$115,930,601,405.17

**Tabla 35:** Ventas gasificación-pirólisis

### 11.8.2 Flujo de caja del proyecto y resultados financieros

A continuación, se presenta la tabla del flujo de caja del proyecto gasificación-pirólisis:

Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Amortización		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Inversiones	\$29,088,502,864.00										
Valor Residual											
Préstamo	\$0.00										
Pago de Capital Préstamo		\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
<b>Flujo de Caja del Proyecto Inversik</b>	<b>\$29,088,502,864.00</b>	<b>\$21,907,940,355.32</b>	<b>\$25,416,749,928.41</b>	<b>\$29,473,590,323.96</b>	<b>\$34,162,230,766.81</b>	<b>\$39,578,984,077.62</b>	<b>\$45,834,506,665.13</b>	<b>\$53,055,890,314.13</b>	<b>\$61,389,007,687.67</b>	<b>\$71,001,198,829.25</b>	<b>\$82,084,259,461.39</b>

**Tabla 36:** Flujo de caja gasificación-pirólisis

<b>TIO</b>	<b>20%</b>
<b>YPN</b>	<b>\$127,707,360,193,32</b>
<b>TIR</b>	<b>31%</b>

**Tabla 37:** Resultados financieros gasificación-pirólisis

De acuerdo con los resultados que arroja el análisis determinístico para el proyecto de gasificación-pirólisis, se observa que presenta resultados financieros, excediendo lo esperado por el inversionista.

## 11.9 Préstamos

Para el análisis en cuestión no se tuvo en cuenta ningún préstamo, sin embargo, está la opción para poner el monto, plazo y la tasa de interés, la cual se encuentra en la pestaña de costos y gastos. A continuación, se muestra la tabla:

PRÉSTAMOS			
TECNOLOGÍA/PROCESO	MONTO	PLAZO	TASA DE INTERÉS
COMPOSTAJE	\$0,00	12	2%
BIODIGESTIÓN	\$0,00	12	2%
GASIFICACIÓN	\$0,00	12	2%

**Tabla 38:** Información general crédito

Es de anotar que cuando se utilice un financiamiento externo (como el caso de un crédito), debe de utilizarse el costo ponderado de capital para el cálculo de la TIO, ya que los intereses causados por los préstamos, son variables de entrada para el cálculo de la TIO con esta metodología.

La información de la amortización del crédito ubicada en la pestaña tanto base determinística como en la pestaña base con riesgo del análisis, se encuentra la siguiente tabla:

Crédito	\$	-				
Plazo		12				
Interés		2%	ea			
Cuota	\$	-				
Periodo	Saldo Inicial	Interés	Abono a K	Cuota	Saldo Final	
0	\$	-	\$	-	\$	-
1	\$	-	\$	-	\$	-
2	\$	-	\$	-	\$	-
3	\$	-	\$	-	\$	-
4	\$	-	\$	-	\$	-
5	\$	-	\$	-	\$	-
6	\$	-	\$	-	\$	-
7	\$	-	\$	-	\$	-
8	\$	-	\$	-	\$	-
9	\$	-	\$	-	\$	-
10	\$	-	\$	-	\$	-

**Tabla 39:** Amortización crédito

En caso tal, si hay un crédito, la anterior tabla muestra toda la amortización del crédito. Para nuestros casos de estudio no se tuvo en cuenta ningún crédito.

## 12 ANÁLISIS DE RIESGOS

### 12.1 Análisis de riesgos

Cuando se aborda una evaluación financiera de proyectos, no se puede dejar de lado el análisis de los riesgos que en algún momento se pueden presentar a lo largo de la vida útil de éste, los cuales afectan directamente la implementación y desarrollo del mismo. (Gómez, Mora, & Uribe, 2015)

Por lo anterior, se debe considerar los conceptos básicos para un análisis de riesgos tales como: probabilidad de ocurrencia e incertidumbre.

La *probabilidad de ocurrencia*, nos da información de la probabilidad de que ocurra o no un evento, sin embargo, éstas no siempre son seguras ya que todo lo que se tiene, es una percepción basada en una opinión o investigación. (Gómez Salazar & Díez Benjumea, 2011)

“La *incertidumbre*, es la falta de información sobre la probabilidad de ocurrencia de un evento. La incertidumbre, generalmente, es más difícil de administrar que el riesgo pues planificar para un evento incierto es más difícil, porque posiblemente no se conozca que existe ese riesgo”. (Gómez Salazar & Díez Benjumea, 2011)

### **12.1.1 Análisis de sensibilidad**

Según (Gómez, Mora, & Uribe, 2015), el análisis de sensibilidad se trata de la determinación de cómo los cambios en las entradas o parámetros afectan las salidas.

### **12.1.2 Análisis de escenarios**

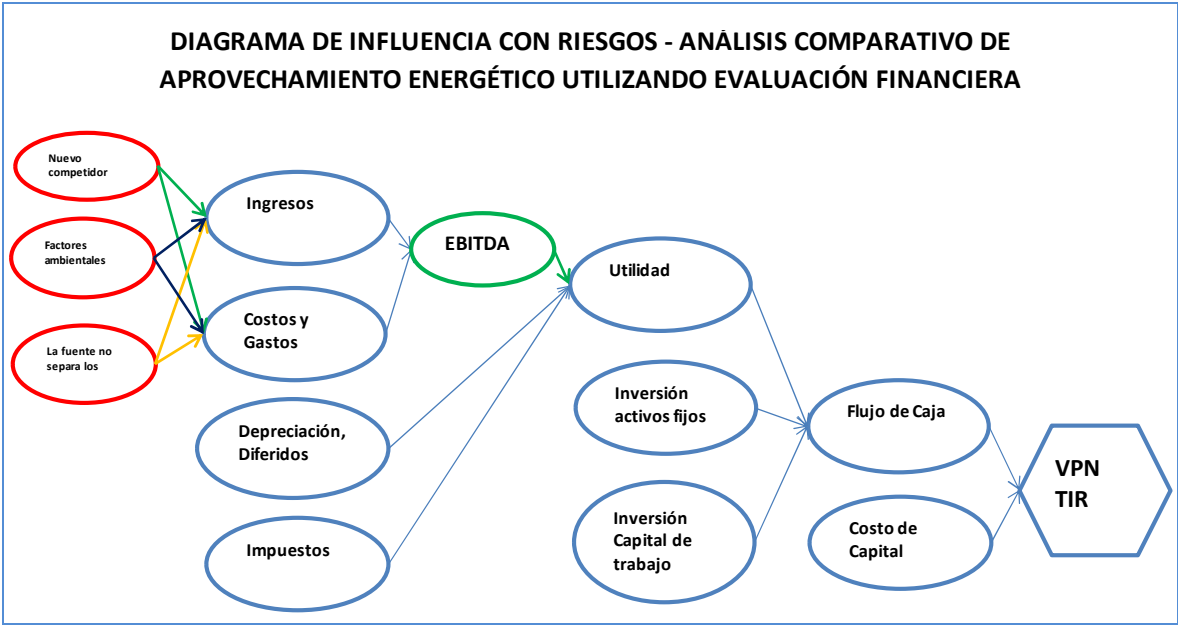
Según (Gómez, Mora, & Uribe, 2015) lo definen como la técnica más sencilla y de uso más común en el análisis de riesgos. Los miembros del equipo valoran la importancia de cada evento de riesgo en términos de lo siguiente:

- Probabilidad del evento
- Impacto del evento

Después de definir algunos conceptos acerca del análisis de riesgos, entramos en materia con el tema.

### 12.2 Diagrama de influencia con riesgos

A continuación, se presenta el diagrama de influencia para el análisis comparativo con riesgos, mostrando las relaciones que hay entre las variables económicas y financieras, y como se ven estas afectadas por los eventos (riesgos), representados en círculo rojos.



**Ilustración 7:** Diagrama de influencia con riesgos

### 12.3 Análisis de riesgos

Los análisis determinísticos utilizando evaluación financiera por sí solos, nos dan una visión de los proyectos poco realista, ya que los resultados no tienen en cuenta los riesgos (eventos) a los cuales el proyecto está expuesto y que afectan variables financieras importantes tales como costos variables y la producción. *“El éxito o fracaso en la toma de la decisión obedece a los buenos o malos resultados obtenidos del análisis, los cuales dependen a su vez, de las variables controlables y no controlables contenidas en el análisis y de la cantidad y calidad de la información conocida”* (Gómez, Mora, & Uribe, 2015). Por lo anterior, tener en cuenta estos riesgos, es decir, un análisis probabilístico, se darán resultados acordes a una realidad probable y se puedan tomar decisiones acertadas. *“La importancia de este análisis, radica en que suministra información para responder preguntas tales como: ¿cuál es la probabilidad de obtener un resultado deseado o qué pasa si cambian algunas variables de entrada en términos de valores esperados?, interrogantes que no son posibles resolver mediante un análisis de decisión determinístico”* (Gómez, Mora, & Uribe, 2015). Para nuestro caso, se construyeron ambos análisis, tanto determinístico como probabilístico. El análisis determinístico se puede ver en el numeral 11. *Evaluación financiera.*

Para el análisis probabilístico comparativo de proyectos utilizando evaluación financiera se tomaron como variables cualitativas los siguientes eventos (riesgos), teniendo en cuenta que no son las únicas variables cualitativas que afectan

financieramente los resultados del análisis, como se mencionó en el punto referente a las limitaciones:

<b>EVENTO</b>	<b>Justificación</b>
<b>Entrada de un nuevo competidor</b>	Este evento afecta directamente la producción total, ya que disminuye la materia prima que se va a tratar.
<b>Factores ambientales</b>	Este evento afecta el proceso fermentativo, alargando el tiempo de producción, la eficiencia, llevando a variar el plan de producción y los presupuestos de venta planeados.
<b>La fuente no separa los residuos correctamente</b>	Este evento afecta directamente los costos variables, ya que si ocurre, se debe incurrir en costos para la correcta separación de los residuos.

**Tabla 40:** Eventos para el análisis de riesgos

Los proyectos pueden ser afectados por uno, por dos o más eventos. Para la tecnología de compostaje los tres eventos arriba mencionados afectan todo el proceso de producción; para las tecnologías de biodigestión y gasificación-pirólisis los eventos que se analizaran son la entrada de un nuevo competidor y la fuente no separa los residuos correctamente.

A continuación, se presentan los análisis comparativos de proyectos utilizando evaluación financiera con riesgos de las tres tecnologías (análisis probabilístico):



### 12.3.1 Compostaje

Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>EVENTO</b>											
Entrada de un nuevo competidor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Factores ambientales = Lluvia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
La fuente no separa los residuos correctamente	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
<b>ESTADO DE RESULTADOS</b>											
PRECIO DE VENTA		162,50	171,44	180,87	190,81	201,31	212,38	224,06	236,39	249,39	263,10
PRODUCCION / VENTA 100%		22.963.743,00	25.260.117,30	27.786.129,03	30.564.741,93	33.621.216,13	36.983.337,74	40.681.671,51	44.749.838,66	49.224.822,53	54.147.304,78
PRODUCCIÓN CON COMPETENCIA		22.963.743,00	25.260.117,30	27.786.129,03	30.564.741,93	33.621.216,13	36.983.337,74	40.681.671,51	44.749.838,66	49.224.822,53	54.147.304,78
INGRESOS OPERACIONALES		\$3.731.608.237,50	\$4.330.531.359,62	\$5.025.581.642,84	\$5.832.187.496,51	\$6.768.253.589,70	\$7.854.558.290,85	\$9.115.214.896,53	\$10.578.206.887,43	\$12.276.009.092,86	\$14.246.308.552,26
<b>INGRESOS TOTALES</b>		<b>\$3.731.608.237,50</b>	<b>\$4.330.531.359,62</b>	<b>\$5.025.581.642,84</b>	<b>\$5.832.187.496,51</b>	<b>\$6.768.253.589,70</b>	<b>\$7.854.558.290,85</b>	<b>\$9.115.214.896,53</b>	<b>\$10.578.206.887,43</b>	<b>\$12.276.009.092,86</b>	<b>\$14.246.308.552,26</b>
<b>COSTOS VARIABLES</b>											
COSTO VARIABLE FACTORES AMBIENTALES		3,46	3,81	4,19	4,61	5,07	5,58	6,14	6,75	7,43	8,17
COSTO VARIABLE NO SEPARAN EN LA FUENTE		\$4,62	\$5,08	\$5,59	\$6,15	\$6,76	\$7,44	\$8,18	\$9,00	\$9,50	\$10,00
COMPOSTAJE COSTOS VARIABLES		\$23,09	\$25,40	\$27,94	\$30,74	\$33,81	\$37,19	\$40,91	\$45,00	\$49,50	\$54,45
COMPOSTAJE COMISIONES POR VENTAS		\$111.948.247,13	\$129.915.940,79	\$150.767.449,29	\$174.965.624,90	\$203.047.607,69	\$235.636.748,73	\$273.456.446,90	\$317.346.206,62	\$368.280.272,79	\$427.389.256,57
COMPOSTAJE COSTOS VARIABLES TOTALES		<b>\$827.868.371,65</b>	<b>\$956.163.611,46</b>	<b>\$1.158.534.358,86</b>	<b>\$1.443.247.624,13</b>	<b>\$1.737.668.826,76</b>	<b>\$2.052.528.423,86</b>	<b>\$2.528.258.373,74</b>	<b>\$3.033.254.626,46</b>	<b>\$3.576.528.460,72</b>	<b>\$4.218.116.773,57</b>
<b>UTILIDAD BRUTA</b>		<b>\$2.903.747.865,85</b>	<b>\$3.334.361.748,16</b>	<b>\$3.826.647.252,04</b>	<b>\$4.388.939.872,38</b>	<b>\$5.030.584.762,94</b>	<b>\$5.762.029.867,05</b>	<b>\$6.594.919.522,79</b>	<b>\$7.944.952.261,02</b>	<b>\$9.105.479.632,14</b>	<b>\$10.428.197.778,29</b>
<b>COSTOS FIJOS</b>											
COMPOSTAJE COSTOS FIJOS TOTALES		<b>\$314.736.317,68</b>	<b>\$324.176.466,51</b>	<b>\$333.563.758,71</b>	<b>\$343.528.871,47</b>	<b>\$354.238.457,61</b>	<b>\$364.868.652,54</b>	<b>\$375.611.622,11</b>	<b>\$387.685.570,76</b>	<b>\$398.658.545,50</b>	<b>\$410.658.566,46</b>
<b>GASTOS FIJOS</b>											
COMPOSTAJE GASTOS FIJOS TOTALES		<b>\$763.558.626,68</b>	<b>\$766.464.760,60</b>	<b>\$816.658.763,42</b>	<b>\$834.360.464,52</b>	<b>\$853.351.278,46</b>	<b>\$885.173.616,81</b>	<b>\$911.728.267,31</b>	<b>\$933.686.053,53</b>	<b>\$967.252.485,14</b>	<b>\$996.270.628,75</b>
<b>EBITDA</b>		<b>\$1.825.453.528,85</b>	<b>\$2.223.718.581,05</b>	<b>\$2.682.684.789,91</b>	<b>\$3.210.658.536,40</b>	<b>\$3.816.954.986,87</b>	<b>\$4.511.991.197,70</b>	<b>\$5.307.379.693,36</b>	<b>\$6.618.786.236,71</b>	<b>\$7.739.528.627,10</b>	<b>\$9.021.268.243,10</b>
Depreciaciones		\$91.442.382,30	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40
Amortizaciones											
<b>UTILIDAD OPERATIVA (UAI) (EBIT)</b>		<b>\$1.734.011.146,55</b>	<b>\$471.318.294,65</b>	<b>\$930.284.503,51</b>	<b>\$1.458.258.250,00</b>	<b>\$2.064.554.700,47</b>	<b>\$2.759.590.911,30</b>	<b>\$3.554.979.406,96</b>	<b>\$4.866.385.950,31</b>	<b>\$5.987.128.340,70</b>	<b>\$7.268.867.956,70</b>

Tabla 41: Estado de resultados compostaje con riesgo

Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Intereses		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
Otros ingresos		<i>Lo que entre que no es de la operación</i>										
Otros egresos		<i>Lo que salga que no sea de la operación</i>										
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS (UAI)</b>		<b>\$1.734.011.146,55</b>	<b>\$471.318.294,65</b>	<b>\$930.284.503,51</b>	<b>\$1.458.258.250,00</b>	<b>\$2.064.554.700,47</b>	<b>\$2.759.590.911,30</b>	<b>\$3.554.979.406,96</b>	<b>\$4.866.385.950,31</b>	<b>\$5.987.128.340,70</b>	<b>\$7.268.867.956,70</b>	
Impuesto de renta (25%)		\$433.502.786,64	\$117.829.573,66	\$232.571.125,88	\$364.564.562,50	\$516.138.675,12	\$689.897.727,82	\$888.744.851,74	\$1.216.596.487,58	\$1.496.782.085,17	\$1.817.216.989,18	
Impuesto CREE(9%)		\$156.061.003,19	\$42.418.646,52	\$83.725.605,32	\$131.243.242,50	\$185.809.923,04	\$248.363.182,02	\$319.948.146,63	\$437.974.735,53	\$538.841.550,66	\$654.198.116,10	
<b>UTILIDAD NETA</b>		<b>\$1.144.447.356,72</b>	<b>\$311.070.074,47</b>	<b>\$613.987.772,32</b>	<b>\$962.450.445,00</b>	<b>\$1.362.606.102,31</b>	<b>\$1.821.330.001,46</b>	<b>\$2.346.286.408,60</b>	<b>\$3.211.814.727,21</b>	<b>\$3.951.504.704,86</b>	<b>\$4.797.462.851,42</b>	

**Tabla 42: Utilidad compostaje con riesgo**

Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Depreciación		\$91.442.202,30	\$1.752.400.206,40	\$1.752.400.206,40	\$1.752.400.206,40	\$1.752.400.206,40	\$1.752.400.206,40	\$1.752.400.206,40	\$1.752.400.206,40	\$1.752.400.206,40	\$1.752.400.206,40
Amortización		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Inversiones	\$2.245.576.790,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Valor Residual		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Préstamo	\$0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Pago de Capital Préstamo		\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
<b>Flujo de Caja del Proyecto/Invers</b>	<b>-\$2.245.576.790,00</b>	<b>\$1.235.889.739,02</b>	<b>\$2.063.470.360,87</b>	<b>\$2.366.388.058,72</b>	<b>\$2.714.850.731,40</b>	<b>\$3.115.006.388,71</b>	<b>\$3.573.730.287,86</b>	<b>\$4.098.686.695,00</b>	<b>\$4.964.215.013,61</b>	<b>\$5.703.904.991,26</b>	<b>\$6.549.853.137,82</b>

**Tabla 43: Flujo de caja compostaje con riesgo**

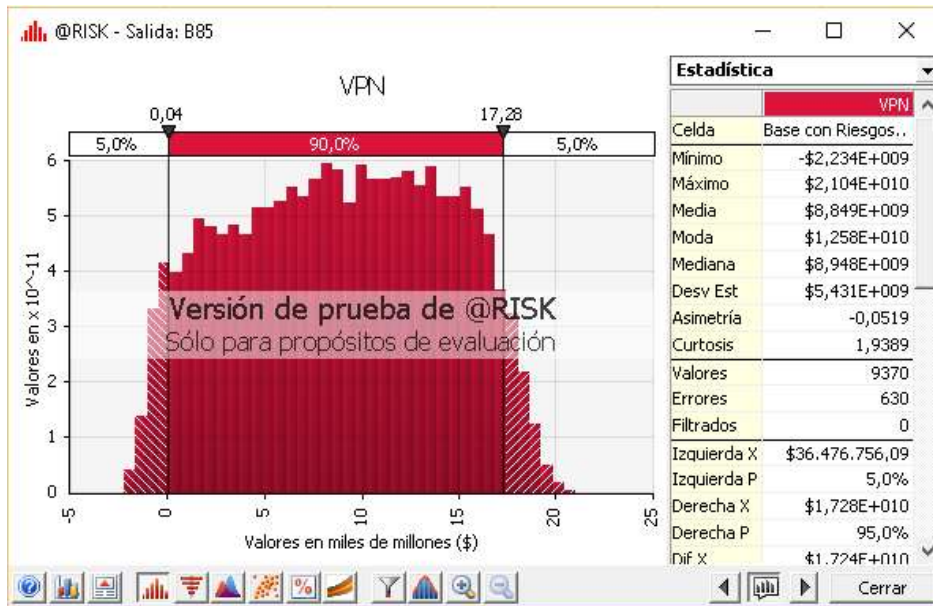


Ilustración 5: Gráfica @Risk VPN Compostaje

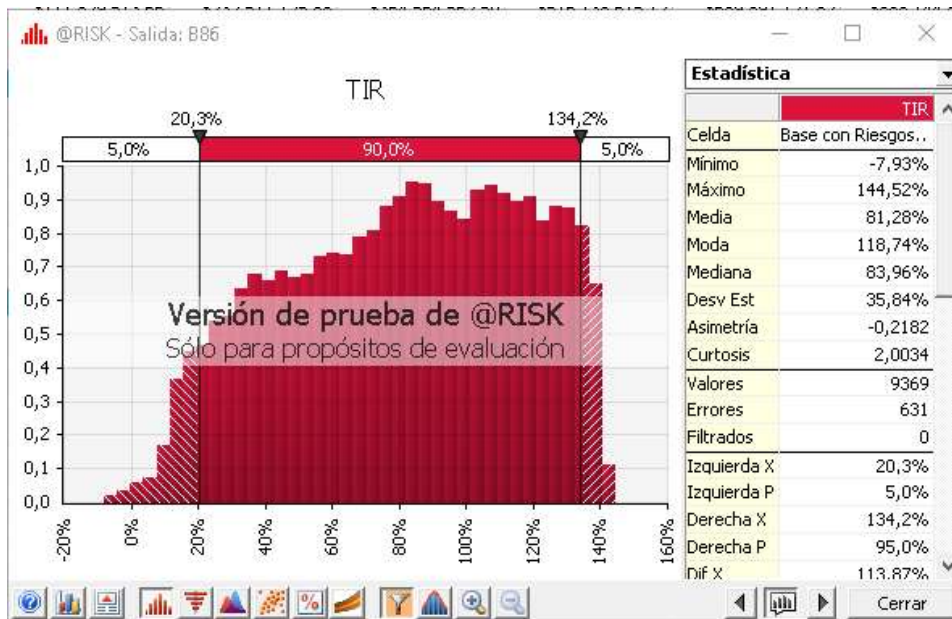


Ilustración 6: Gráfica @Risk TIR compostaje

A partir de las gráficas anteriores del VPN y la TIR, se puede responderla siguiente pregunta ¿este proyecto es rentable para un inversionista?

Se realizó la simulación para compostaje y arrojó que el valor mínimo posible para el VPN en el proyecto de compostaje es de -\$2.234'000.000,00 de pesos, el valor máximo \$ 21.040'000.000,00 de pesos y con un valor medio de \$8.849'000.000,00 de pesos. Se puede afirmar con una probabilidad del 90% que el valor esperado del VPN estará entre \$40'000.000 de pesos y \$17.280'.000.000,00 de pesos.

El valor mínimo posible para TIR es -7,93%, máximo de 144,52% y promedio de 81,28%. Se puede afirmar con una probabilidad del 90% que el valor esperado de la TIR estará entre 20,3% y 134,2%.

### 12.3.2 Biodigestión

Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>EVENTO</b>											
Entrada de un nuevo competidor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Factores ambientales = Lluvia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
La fuente no separa los residuos correctamente	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
<b>ESTADO DE RESULTADOS</b>											
PRECIO DE VENTA		1,025.00	1,081.38	1,140.85	1,203.60	1,269.80	1,339.63	1,413.31	1,491.05	1,573.05	1,659.57
PRODUCCION / VENTA 100%		29,820,000.00	32,802,000.00	36,082,200.00	39,690,420.00	43,659,462.00	48,025,408.20	52,827,949.02	58,110,743.92	63,921,818.31	70,314,000.15
PRODUCCIÓN CON COMPETENCIA		29,820,000.00	32,802,000.00	36,082,200.00	39,690,420.00	43,659,462.00	48,025,408.20	52,827,949.02	58,110,743.92	63,921,818.31	70,314,000.15
INGRESOS OPERACIONALES		\$30,565,500,000.00	\$35,471,262,750.00	\$41,164,400,421.38	\$47,771,286,689.01	\$55,438,578,202.59	\$64,336,470,004.11	\$74,662,473,439.77	\$86,645,800,426.85	\$100,552,451,395.36	\$116,691,119,844.31
<b>INGRESOS TOTALES</b>		<b>\$30,565,500,000.00</b>	<b>\$35,471,262,750.00</b>	<b>\$41,164,400,421.38</b>	<b>\$47,771,286,689.01</b>	<b>\$55,438,578,202.59</b>	<b>\$64,336,470,004.11</b>	<b>\$74,662,473,439.77</b>	<b>\$86,645,800,426.85</b>	<b>\$100,552,451,395.36</b>	<b>\$116,691,119,844.31</b>
<b>COSTOS VARIABLES</b>											
<b>COSTO VARIABLE FACTORES AMBIENTALES</b>											
COSTO VARIABLE NO SEPARAN EN LA FUENTE		\$2.46	\$2.70	\$2.97	\$3.27	\$3.60	\$3.96	\$4.35	\$0.00	\$0.00	\$0.00
BIDDIGESTION COSTOS VARIABLES		\$12.29	\$13.52	\$14.87	\$16.35	\$17.99	\$19.79	\$21.77	\$23.95	\$26.34	\$28.97
BIDDIGESTION COMISIONES POR VENTAS		\$916,985,000.00	\$1,064,137,882.50	\$1,234,932,012.64	\$1,433,138,600.67	\$1,663,157,346.08	\$1,930,094,100.12	\$2,239,874,203.19	\$2,599,374,012.81	\$3,016,573,541.86	\$3,500,733,595.33
<b>BIDDIGESTION COSTOS VARIABLES TOTALES</b>		<b>\$1,356,665,551.27</b>	<b>\$1,536,175,545.53</b>	<b>\$1,678,657,555.75</b>	<b>\$2,212,654,548.57</b>	<b>\$2,665,654,527.52</b>	<b>\$3,076,564,665.67</b>	<b>\$3,615,642,650.55</b>	<b>\$3,596,642,435.22</b>	<b>\$4,706,250,337.62</b>	<b>\$5,537,562,516.45</b>
<b>UTILIDAD BRUTA</b>		<b>\$29,208,834,448.73</b>	<b>\$33,875,087,200.47</b>	<b>\$39,285,702,831.62</b>	<b>\$45,559,191,740.03</b>	<b>\$52,832,883,675.07</b>	<b>\$61,265,905,914.43</b>	<b>\$71,042,630,549.22</b>	<b>\$82,654,957,987.63</b>	<b>\$95,852,201,057.53</b>	<b>\$111,153,137,325.87</b>
<b>COSTOS FIJOS</b>											
<b>BIDDIGESTION COSTOS FIJOS TOTALES</b>		<b>\$7,666,606.06</b>	<b>\$7,210,066.06</b>	<b>\$7,426,306.06</b>	<b>\$7,645,665.06</b>	<b>\$7,878,561.67</b>	<b>\$8,114,318.52</b>	<b>\$8,358,366.08</b>	<b>\$8,603,117.06</b>	<b>\$8,867,350.57</b>	<b>\$9,133,412.25</b>
<b>GASTOS FIJOS</b>											
<b>BIDDIGESTION GASTOS FIJOS TOTALES</b>		<b>\$146,176,606.06</b>	<b>\$144,375,324.06</b>	<b>\$146,767,201.72</b>	<b>\$153,168,417.77</b>	<b>\$157,763,476.36</b>	<b>\$162,456,374.41</b>	<b>\$167,371,265.65</b>	<b>\$172,352,463.62</b>	<b>\$177,564,175.72</b>	<b>\$182,851,161.06</b>
<b>EBITDA</b>		<b>\$29,061,663,648.73</b>	<b>\$33,723,501,276.47</b>	<b>\$39,129,569,329.90</b>	<b>\$45,398,374,233.26</b>	<b>\$52,667,241,643.09</b>	<b>\$61,095,294,621.50</b>	<b>\$70,866,900,917.50</b>	<b>\$82,473,956,466.95</b>	<b>\$95,665,769,491.24</b>	<b>\$110,961,112,812.58</b>

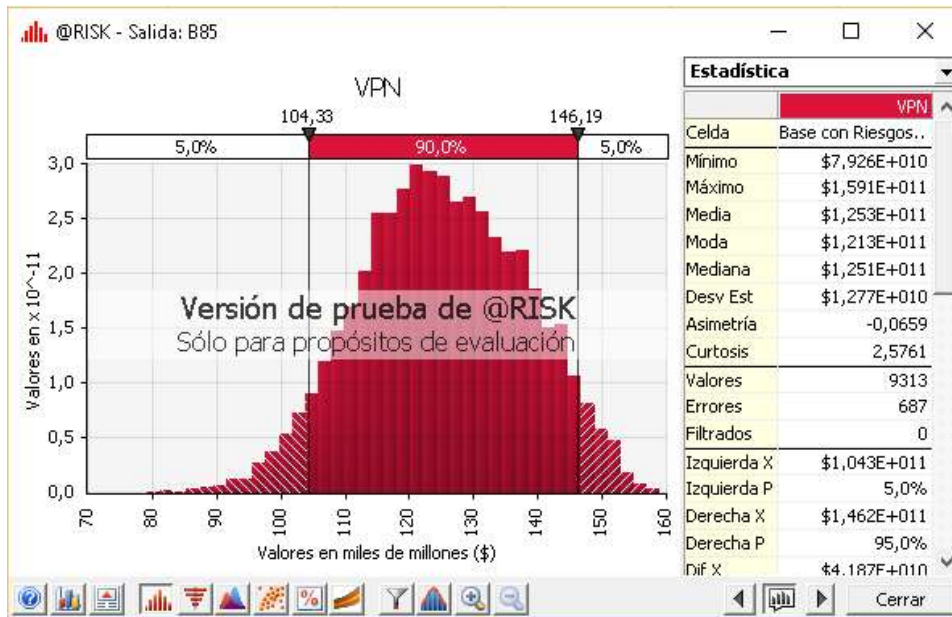
Tabla 44: Estado de resultados biodigestión con riesgo

Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Depreciaciones		\$467.410.296,70	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40
Amortizaciones											
<b>UTILIDAD OPERATIVA (UAI) (EBIT)</b>		<b>\$28.594.253.352,03</b>	<b>\$31.971.100.990,07</b>	<b>\$37.377.169.043,50</b>	<b>\$43.645.973.946,86</b>	<b>\$50.914.841.356,69</b>	<b>\$59.342.894.335,10</b>	<b>\$69.114.500.631,10</b>	<b>\$80.721.556.180,55</b>	<b>\$93.913.369.204,84</b>	<b>\$109.208.712.526,18</b>
Intereses		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Otros ingresos											
Otros egresos											
		<i>Lo que entre que no es de la operación</i>									
		<i>Lo que salga que no sea de la operación</i>									
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS (UAI)</b>		<b>\$28.594.253.352,03</b>	<b>\$31.971.100.990,07</b>	<b>\$37.377.169.043,50</b>	<b>\$43.645.973.946,86</b>	<b>\$50.914.841.356,69</b>	<b>\$59.342.894.335,10</b>	<b>\$69.114.500.631,10</b>	<b>\$80.721.556.180,55</b>	<b>\$93.913.369.204,84</b>	<b>\$109.208.712.526,18</b>
Impuesto de renta (25%)		\$7.148.563.338,01	\$7.992.775.247,52	\$9.344.292.260,88	\$10.911.493.486,72	\$12.728.710.339,17	\$14.835.723.583,78	\$17.278.625.157,77	\$20.180.389.045,14	\$23.478.342.301,21	\$27.302.178.131,55
Impuesto CREE(9%)		\$2.573.482.801,68	\$2.877.399.089,11	\$3.363.945.213,92	\$3.928.137.655,22	\$4.582.335.722,10	\$5.340.860.490,16	\$6.220.305.056,80	\$7.264.940.056,25	\$8.452.203.228,44	\$9.828.784.127,36
<b>UTILIDAD NETA</b>		<b>\$18.872.207.212,34</b>	<b>\$21.100.926.653,44</b>	<b>\$24.668.931.568,71</b>	<b>\$28.806.342.804,93</b>	<b>\$33.603.795.295,42</b>	<b>\$39.166.310.261,17</b>	<b>\$45.615.570.416,52</b>	<b>\$53.276.227.079,17</b>	<b>\$61.982.823.675,19</b>	<b>\$72.077.750.267,28</b>

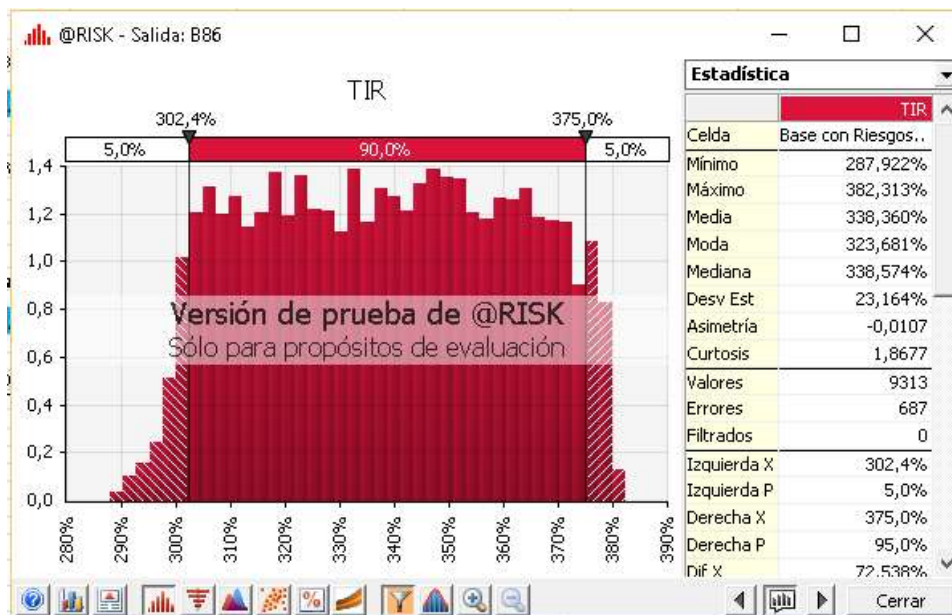
**Tabla 45:** Utilidad biodigestión con riesgo

Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Depreciación		\$467.410.296,70	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40
Amortización											
Inversiones	\$6.005.255.934,00										
Valor Residual											
Préstamo	\$0,00										
Pago de Capital Préstamo		\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
<b>Flujo de Caja del Proyecto/Inversi</b>	<b>-\$6.005.255.934,00</b>	<b>\$19.339.617.509,04</b>	<b>\$22.853.326.939,84</b>	<b>\$26.421.331.855,11</b>	<b>\$30.558.743.091,33</b>	<b>\$35.356.195.581,82</b>	<b>\$40.918.710.547,57</b>	<b>\$47.367.970.702,92</b>	<b>\$55.028.627.365,57</b>	<b>\$63.735.223.961,59</b>	<b>\$73.830.150.553,68</b>

**Tabla 46:** Flujo de caja biodigestión con riesgo



**Ilustración 7:** Gráfica @Risk VPN biodigestión



**Ilustración 8:** Gráfica @Risk TIR biodigestión

A partir de las gráficas anteriores del VPN y la TIR, se puede responder la siguiente pregunta ¿este proyecto es rentable para un inversionista?

Se realizó la simulación para biodigestión y arrojó que el valor mínimo posible para el VPN en el proyecto de compostaje es de \$79.260'000.000,00 de pesos, el valor máximo \$ 159.100'000.000,00 de pesos y con un valor medio de \$125.300'000.000,00 de pesos. Se puede afirmar con una probabilidad del 90% que el valor esperado del VPN estará entre \$104.330'000.000 de pesos y \$146.190'.000.000,00 de pesos.

El valor mínimo posible para TIR es 287,922%, máximo de 382,313% y promedio de 338,360%. Se puede afirmar con una probabilidad del 90% que el valor esperado de la TIR estará entre 302,4% y 375,0%.

### 12.3.3 Gasificación-Pirólisis

Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>EVENTO</b>											
Entrada de un nuevo competidor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Factores ambientales = Lluvia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
La fuente no separa los residuos correctamente	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
<b>ESTADO DE RESULTADOS</b>											
PRECIO DE VENTA		1,025.00	1,081.38	1,140.85	1,203.60	1,269.80	1,339.63	1,413.31	1,491.05	1,573.05	1,659.57
PRODUCCION / VENTA 100%		37,317,600.00	41,049,360.00	45,154,296.00	49,669,725.60	54,636,698.16	60,100,367.98	66,110,404.77	72,721,445.25	79,993,589.78	87,992,948.75
PRODUCCION CON COMPETENCIA		37,317,600.00	41,049,360.00	45,154,296.00	49,669,725.60	54,636,698.16	60,100,367.98	66,110,404.77	72,721,445.25	79,993,589.78	87,992,948.75
INGRESOS OPERACIONALES		\$38,250,540,000.00	\$44,389,751,670.00	\$51,514,306,813.04	\$59,782,353,056.53	\$69,377,420,722.10	\$80,512,496,748.00	\$93,434,752,476.05	\$108,431,030,248.46	\$125,834,210,603.33	\$146,030,601,405.17
<b>INGRESOS TOTALES</b>		<b>\$38,250,540,000.00</b>	<b>\$44,389,751,670.00</b>	<b>\$51,514,306,813.04</b>	<b>\$59,782,353,056.53</b>	<b>\$69,377,420,722.10</b>	<b>\$80,512,496,748.00</b>	<b>\$93,434,752,476.05</b>	<b>\$108,431,030,248.46</b>	<b>\$125,834,210,603.33</b>	<b>\$146,030,601,405.17</b>
<b>COSTOS VARIABLES</b>											
<b>COSTO VARIABLE FACTORES AMBIENTALES</b>											
COSTO VARIABLE NO SEPARAN EN LA FUENTE		\$16.20	\$17.82	\$19.61	\$21.57	\$23.72	\$26.10	\$28.71	\$0.00	\$0.00	\$0.00
GASIFICACION COSTOS VARIABLES		\$81.02	\$89.12	\$98.03	\$107.84	\$118.62	\$130.48	\$143.53	\$157.88	\$173.67	\$191.04
GASIFICACION COMISIONES POR VENTAS		\$1,147,516,200.00	\$1,331,632,950.10	\$1,545,429,204.39	\$1,793,470,591.70	\$2,081,322,621.66	\$2,415,374,902.44	\$2,803,042,574.28	\$3,252,930,907.45	\$3,775,026,318.10	\$4,380,918,042.16
<b>GASIFICACION COSTOS VARIABLES TOTALES</b>		<b>\$4,775,624,527.73</b>	<b>\$5,721,704,110.66</b>	<b>\$6,857,343,152.67</b>	<b>\$8,226,886,517.51</b>	<b>\$9,856,455,651.96</b>	<b>\$11,825,754,555.42</b>	<b>\$14,163,601,553.23</b>	<b>\$16,734,376,267.26</b>	<b>\$19,667,577,647.65</b>	<b>\$23,156,565,156.36</b>
<b>UTILIDAD BRUTA</b>		<b>\$33,474,915,472.27</b>	<b>\$38,668,047,559.34</b>	<b>\$44,656,963,620.37</b>	<b>\$51,561,466,539.02</b>	<b>\$59,518,924,830.20</b>	<b>\$68,686,742,188.57</b>	<b>\$79,245,150,516.82</b>	<b>\$93,696,651,961.18</b>	<b>\$108,166,632,955.65</b>	<b>\$124,839,696,254.21</b>
<b>COSTOS FIJOS</b>											
<b>GASIFICACION COSTOS FIJOS TOTALES</b>		<b>\$21,866,136.06</b>	<b>\$22,522,113.56</b>	<b>\$23,187,777.32</b>	<b>\$23,853,710.64</b>	<b>\$24,610,521.56</b>	<b>\$25,348,637.61</b>	<b>\$26,105,302.74</b>	<b>\$26,832,581.62</b>	<b>\$27,638,353.28</b>	<b>\$28,530,346.06</b>
<b>GASTOS FIJOS</b>											
<b>SECADOR GASTOS FIJOS TOTALES</b>		<b>\$2,145,141,806.06</b>	<b>\$2,213,616,054.06</b>	<b>\$2,280,624,535.62</b>	<b>\$2,348,425,271.65</b>	<b>\$2,418,678,625.84</b>	<b>\$2,491,444,370.73</b>	<b>\$2,566,167,701.66</b>	<b>\$2,643,173,332.31</b>	<b>\$2,722,468,532.96</b>	<b>\$2,804,142,568.65</b>
<b>EBITDA</b>		<b>\$31,303,907,142.27</b>	<b>\$36,431,909,391.44</b>	<b>\$42,353,741,307.43</b>	<b>\$49,189,147,556.69</b>	<b>\$57,075,436,278.41</b>	<b>\$66,169,948,980.23</b>	<b>\$76,652,853,512.22</b>	<b>\$91,026,586,046.44</b>	<b>\$105,416,465,063.47</b>	<b>\$122,007,023,325.27</b>

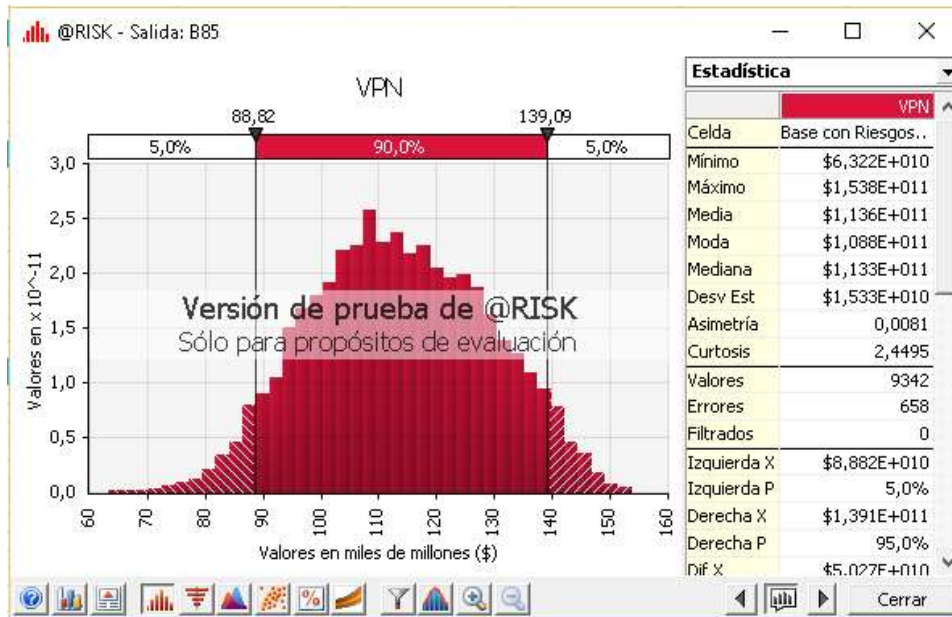
Tabla 47: Estado de resultados gasificación-pirólisis con riesgo

Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Depreciaciones		\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40
Amortizaciones											
<b>UTILIDAD OPERATIVA (UAI) (EBIT)</b>		<b>\$29.551.506.855,87</b>	<b>\$34.679.509.105,04</b>	<b>\$40.601.341.021,03</b>	<b>\$47.436.747.270,29</b>	<b>\$55.323.035.992,01</b>	<b>\$64.417.548.693,83</b>	<b>\$74.900.453.225,82</b>	<b>\$89.274.185.760,04</b>	<b>\$103.664.064.777,07</b>	<b>\$120.254.623.038,87</b>
Intereses		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Otros ingresos											
Otros egresos											
		<i>Lo que entre que no es de la operación</i>									
		<i>Lo que salga que no sea de la operación</i>									
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS (UAI)</b>		<b>\$29.551.506.855,87</b>	<b>\$34.679.509.105,04</b>	<b>\$40.601.341.021,03</b>	<b>\$47.436.747.270,29</b>	<b>\$55.323.035.992,01</b>	<b>\$64.417.548.693,83</b>	<b>\$74.900.453.225,82</b>	<b>\$89.274.185.760,04</b>	<b>\$103.664.064.777,07</b>	<b>\$120.254.623.038,87</b>
Impuesto de renta (25%)		\$7.387.876.713,97	\$8.669.877.276,26	\$10.150.335.255,26	\$11.859.186.817,57	\$13.830.758.998,00	\$16.104.387.173,46	\$18.725.113.306,46	\$22.318.546.440,01	\$25.916.016.194,27	\$30.063.655.759,72
Impuesto CREE(9%)		\$2.659.635.617,03	\$3.121.155.819,45	\$3.654.120.691,89	\$4.269.307.254,33	\$4.979.073.239,28	\$5.797.579.382,44	\$6.741.040.790,32	\$8.034.676.718,40	\$9.329.765.829,94	\$10.822.916.073,50
<b>UTILIDAD NETA</b>		<b>\$19.503.994.524,87</b>	<b>\$22.888.476.009,33</b>	<b>\$26.796.885.073,88</b>	<b>\$31.308.253.198,39</b>	<b>\$36.513.203.754,73</b>	<b>\$42.515.582.137,92</b>	<b>\$49.434.299.129,04</b>	<b>\$58.920.962.601,63</b>	<b>\$68.418.282.752,86</b>	<b>\$79.368.051.205,65</b>

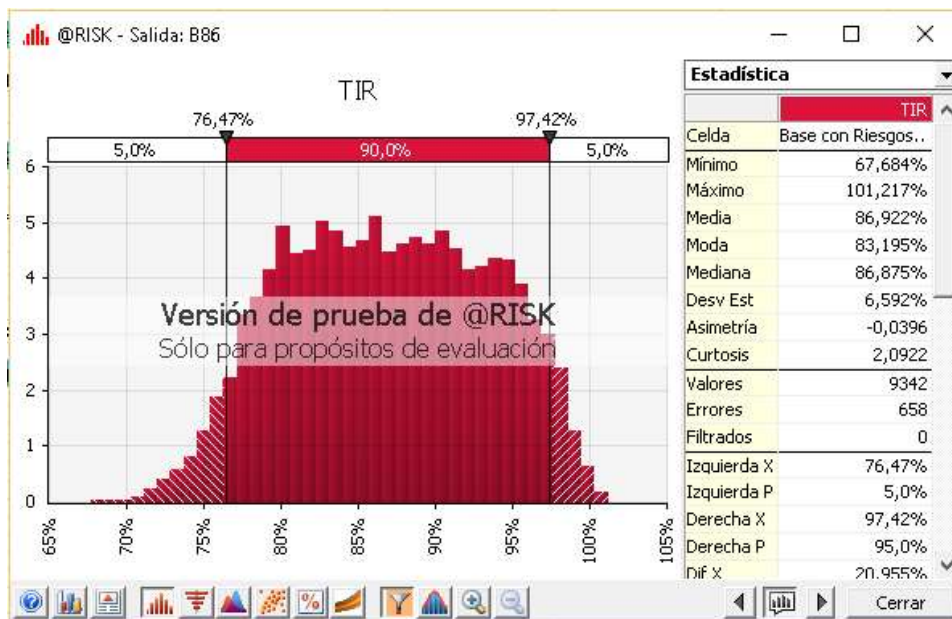
Tabla 48: Utilidad gasificación-pirólisis con riesgo

Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Depreciación		\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40	\$1.752.400.286,40
Amortización		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Inversiones	\$29.088.502.864,00										
Valor Residual		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Préstamo	\$0,00										
Pago de Capital Préstamo		\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
<b>Flujo de Caja del Proyecto.Im</b>	<b>\$29.088.502.864,00</b>	<b>\$21.256.394.811,27</b>	<b>\$24.640.876.295,73</b>	<b>\$28.549.285.360,28</b>	<b>\$33.060.653.484,79</b>	<b>\$38.265.604.041,13</b>	<b>\$44.267.982.424,32</b>	<b>\$51.186.699.415,44</b>	<b>\$60.673.362.888,03</b>	<b>\$70.170.683.039,26</b>	<b>\$81.120.451.492,05</b>

Tabla 49: Flujo de caja gasificación-pirólisis con riesgo



**Ilustración 9:** Gráfica @Risk VPN gasificación-pirólisis



**Ilustración 10:** Gráfica @Risk TIR gasificación-pirólisis

A partir de las gráficas anteriores del VPN y la TIR, podremos responder ¿este proyecto es rentable para un inversionista?

Se realizó la simulación para gasificación-pirólisis y arrojó que el valor mínimo posible para el VPN en el proyecto de compostaje es de \$63.220'000.000,00 de pesos, el valor máximo \$ 153.800'000.000,00 de pesos y con un valor medio de \$113.600'000.000,00 de pesos. Se puede afirmar con una probabilidad del 90% que el valor esperado del VPN estará entre \$88.820'000.000 de pesos y \$139.090'.000.000,00 de pesos.

El valor mínimo posible para TIR es 67,684%, máximo de 101,217% y promedio de 86,922%. Se puede afirmar con una probabilidad del 90% que el valor esperado de la TIR estará entre 76,47% y 97,42%.

## 12.4 Análisis de riesgos

### 12.4.1 Compostaje

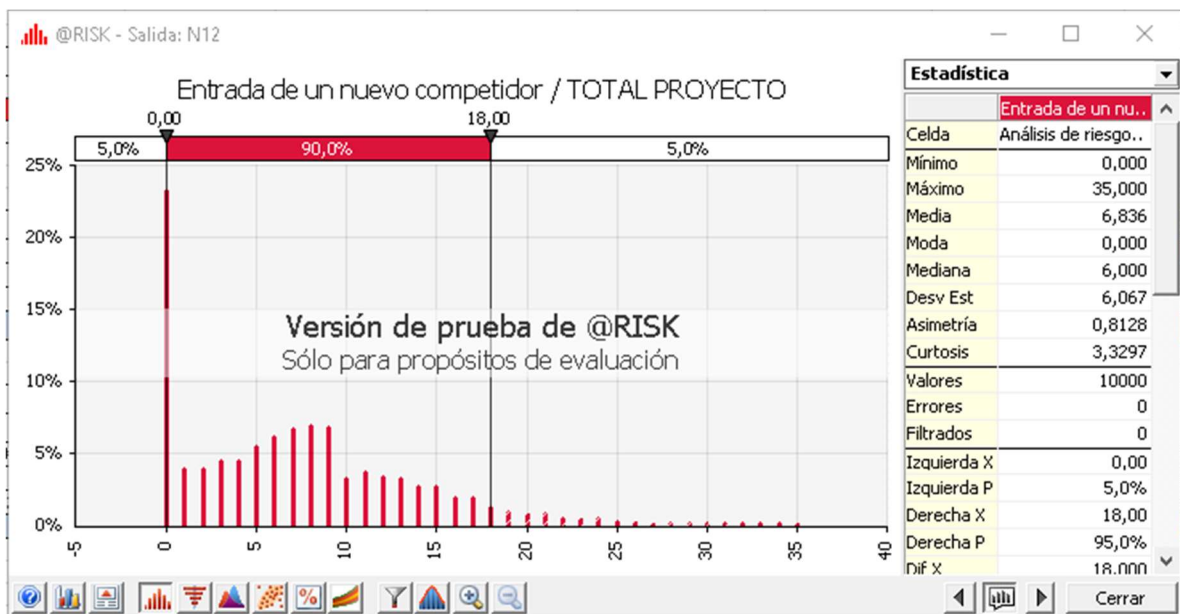
Se realizó la simulación para **compostaje** para la frecuencia de los eventos y arrojó lo siguiente:

PERIODO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Entrada de un nuevo competidor	0%	15%	16%	16%	17%	16%	16%	15%	14%	14%
Factores ambientales	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
La fuente no separa los residuos correctamente	70%	70%	70%	70%	67%	59%	51%	45%	39%	34%

**Tabla 50:** Probabilidad de ocurrencia eventos compostaje

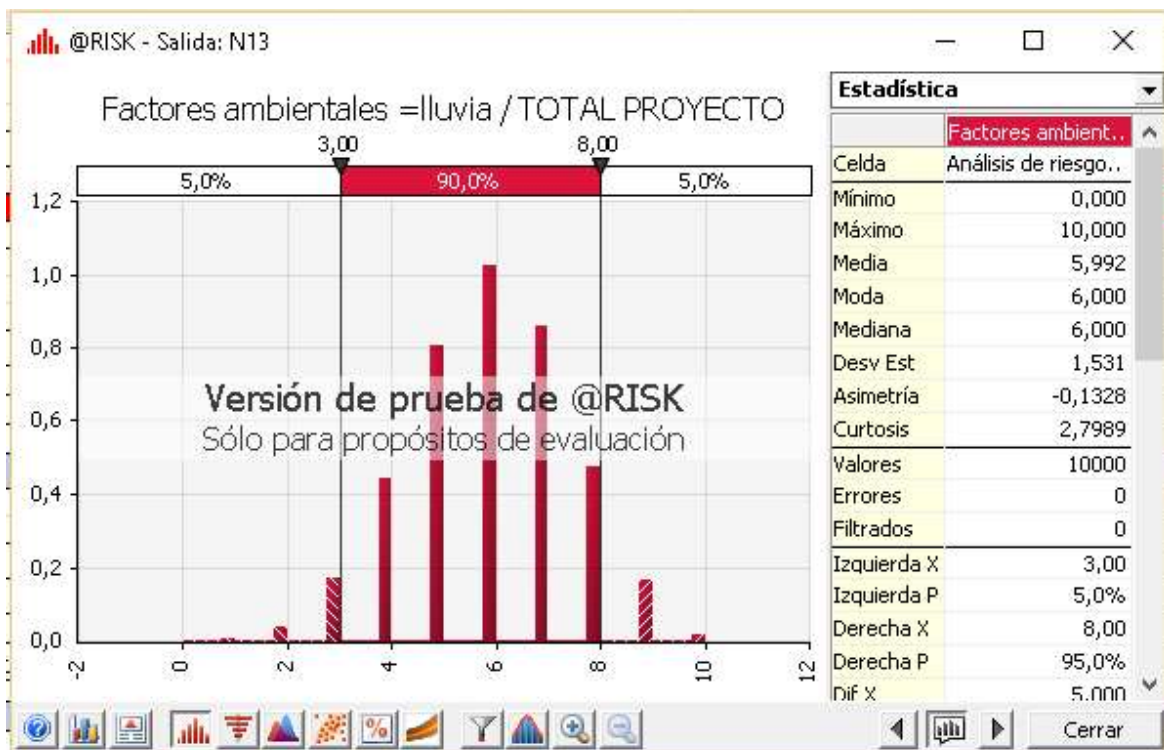
PERIODO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL PROYECTO
Entrada de un nuevo competidor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Factores ambientales	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
La fuente no separa los residuos correctamente	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	7
<b>TOTAL AÑO</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>17</b>

**Tabla 51:** Frecuencia de eventos compostaje



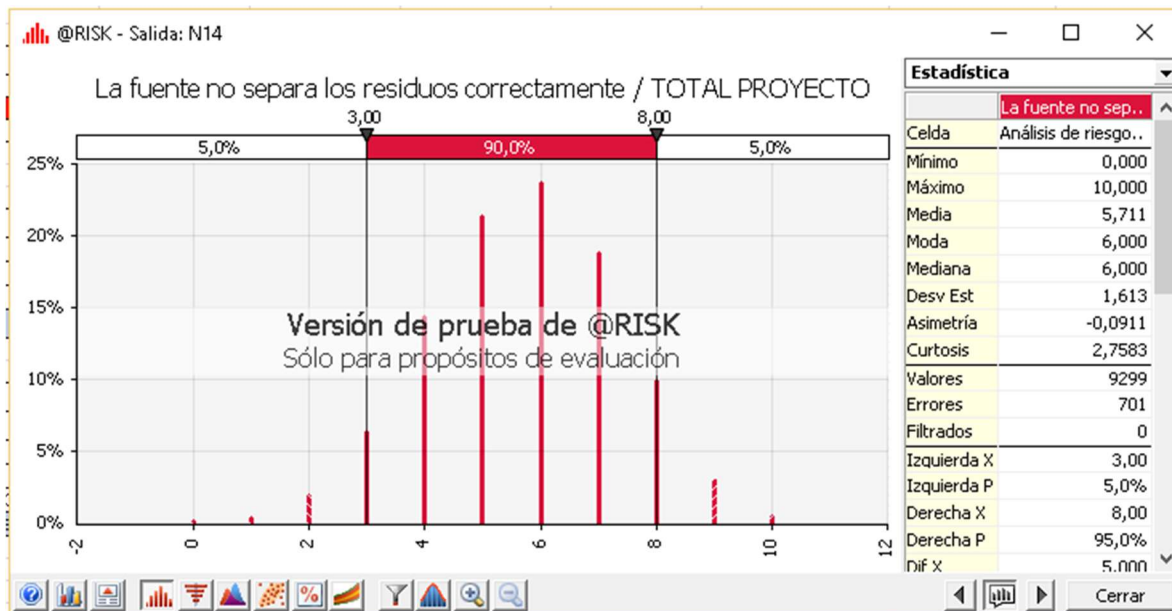
**Ilustración 11:** Gráfica @Risk evento compostaje

El número mínimo de la frecuencia para el evento **entrada de un nuevo competidor** es de 0,0, un máximo de 35 y una media de 7. Con una probabilidad de 90% se puede afirmar que la frecuencia de este evento durante todo el horizonte del proyecto estará entre 0,0 y 18 veces.



**Ilustración 12:** Gráfica @Risk evento compostaje

El número mínimo de la frecuencia para el evento **factores ambientales = lluvia** es de 0,0, un máximo de 10,0 y una media de 6. Con una probabilidad de 90% se puede afirmar que la frecuencia de este evento durante todo el horizonte del proyecto estará entre 3,0 y 8 veces.



**Ilustración 13:** Gráfica @Risk evento compostaje

El número mínimo de la frecuencia para el evento **la fuente no separa los residuos correctamente** es de 0,0, un máximo de 8,0 y una media de 6. Con una probabilidad de 90% se puede afirmar que la frecuencia de este evento durante todo el horizonte del proyecto estará entre 3,0 y 8 veces.

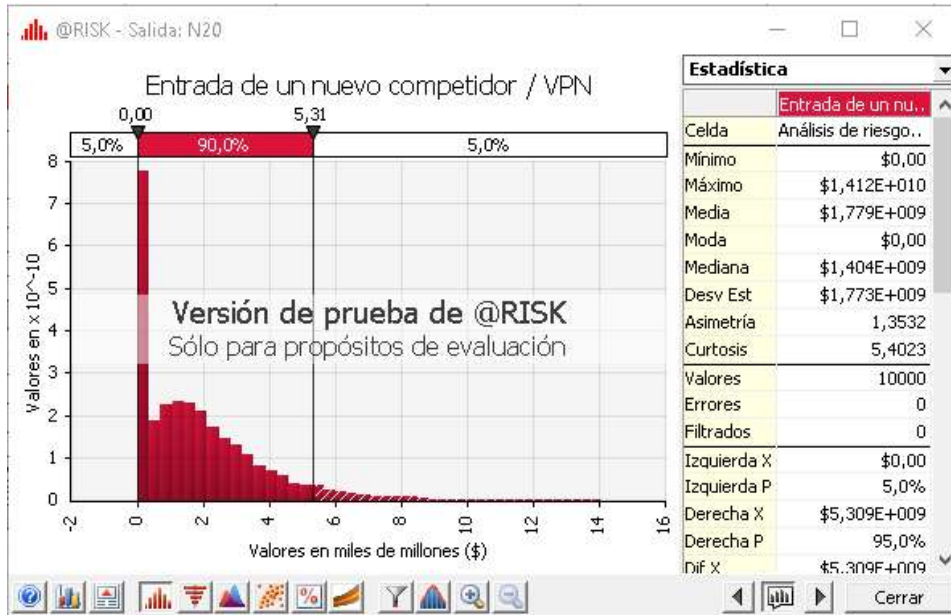


**Ilustración 14:** Gráfica @Risk total evento compostaje

El número mínimo de la frecuencia para el total de los eventos es de 2,0, un máximo de 49,0 y una media de 19. Con una probabilidad de 90% se puede afirmar que la frecuencia de estos eventos estará entre 10,0 y 30 veces.

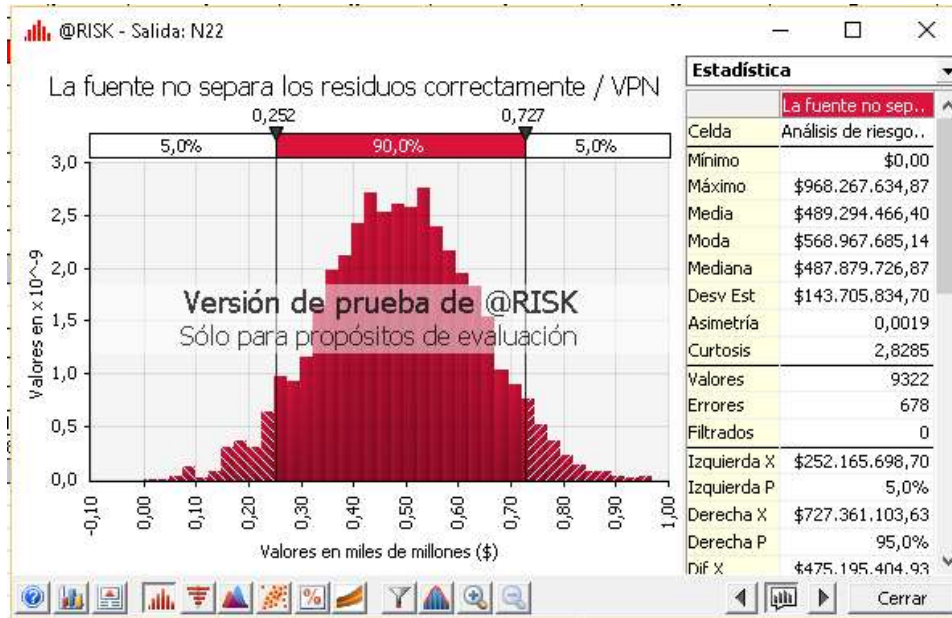
PERIODO	Impacto Real si ocurre										VPN	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Entrada de un nuevo competidor	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 0,00
Factores ambientales	\$ 79.545.791,61	\$ 96.250.407,85	\$ 116.462.993,50	\$ 140.920.222,44	\$ 170.513.468,79	\$ 206.321.297,23	\$ 249.648.789,85	\$ 302.075.011,20	\$ 365.510.763,84	\$ 442.268.024,01	\$ 688.300.194,96	
La fuente no separa los residuos correctamente	\$ 106.061.055,43	\$ 128.333.877,34	\$ 155.283.991,34	\$ 187.893.629,52	\$ 227.351.291,71	\$ 275.095.062,97	\$ 332.885.026,20	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 634.373.343,43	
<b>TOTAL AÑO</b>	<b>\$ 185.606.847</b>	<b>\$ 224.584.285</b>	<b>\$ 271.746.985</b>	<b>\$ 328.813.852</b>	<b>\$ 397.864.761</b>	<b>\$ 481.416.360</b>	<b>\$ 582.513.796</b>	<b>\$ 302.075.011</b>	<b>\$ 385.510.764</b>	<b>\$ 442.268.024</b>	<b>\$ 1.322.673.544,46</b>	

**Tabla 52:** Impacto si ocurre compostaje



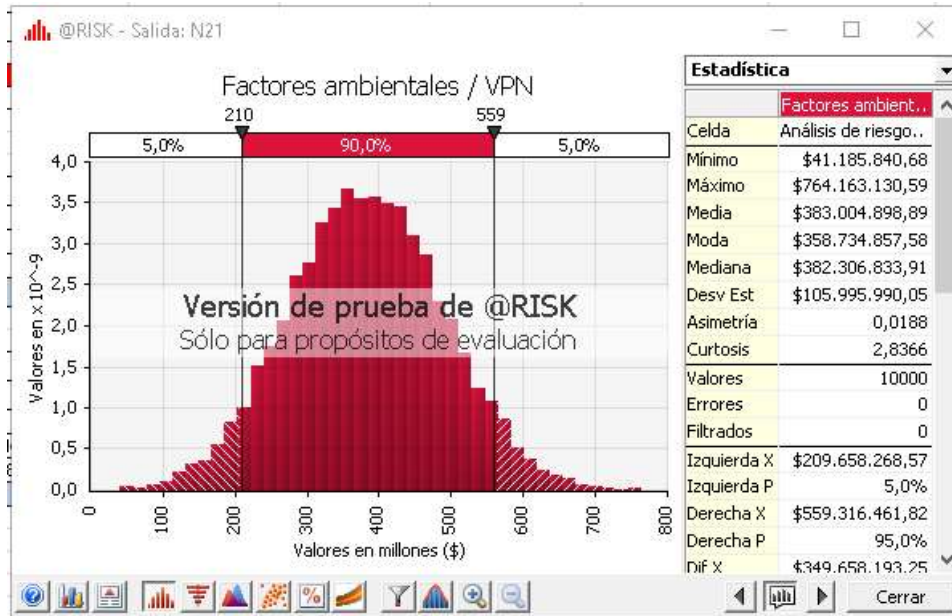
**Ilustración 15:** Gráfica @Risk impacto real si ocurre evento compostaje

El impacto real si ocurre **entrada de un nuevo competidor** con una probabilidad del 90% se puede asegurar que el impacto estará entre \$0,0 pesos y \$5.310'000.000 de pesos.



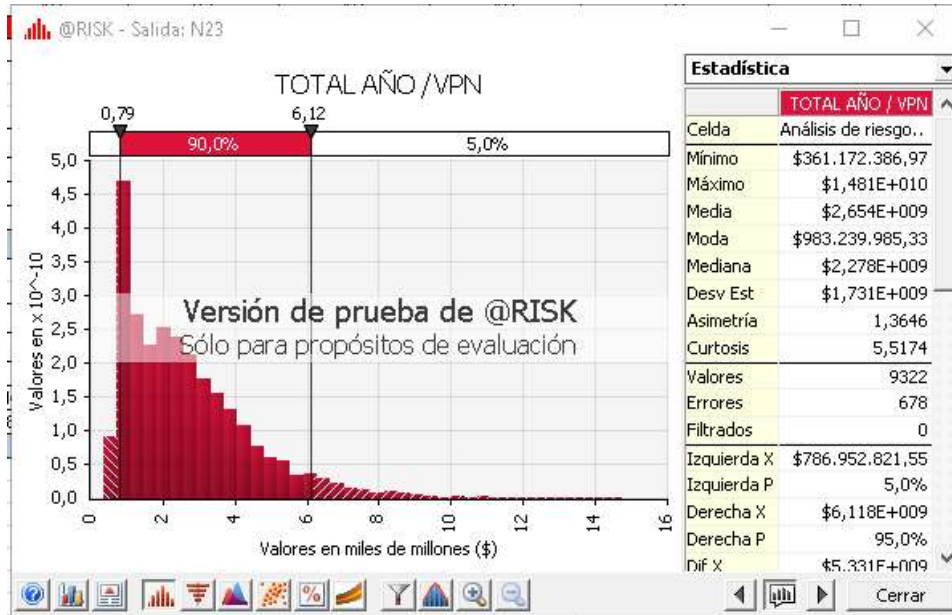
**Ilustración 16:** Gráfica @Risk impacto real si ocurre evento compostaje

El impacto real si ocurre **la fuente no separa los residuos correctamente** con una probabilidad del 90% se puede asegurar que el impacto estará entre \$252'000.000,0 de pesos y \$727'000.000 de pesos.



**Ilustración 17:** Gráfica @Risk impacto real si ocurre evento compostaje

El impacto real si ocurre **factores ambientales = lluvia** con una probabilidad del 90% se puede asegurar que el impacto estará entre \$210'000.000,0 de pesos y \$559'000.000 de pesos.



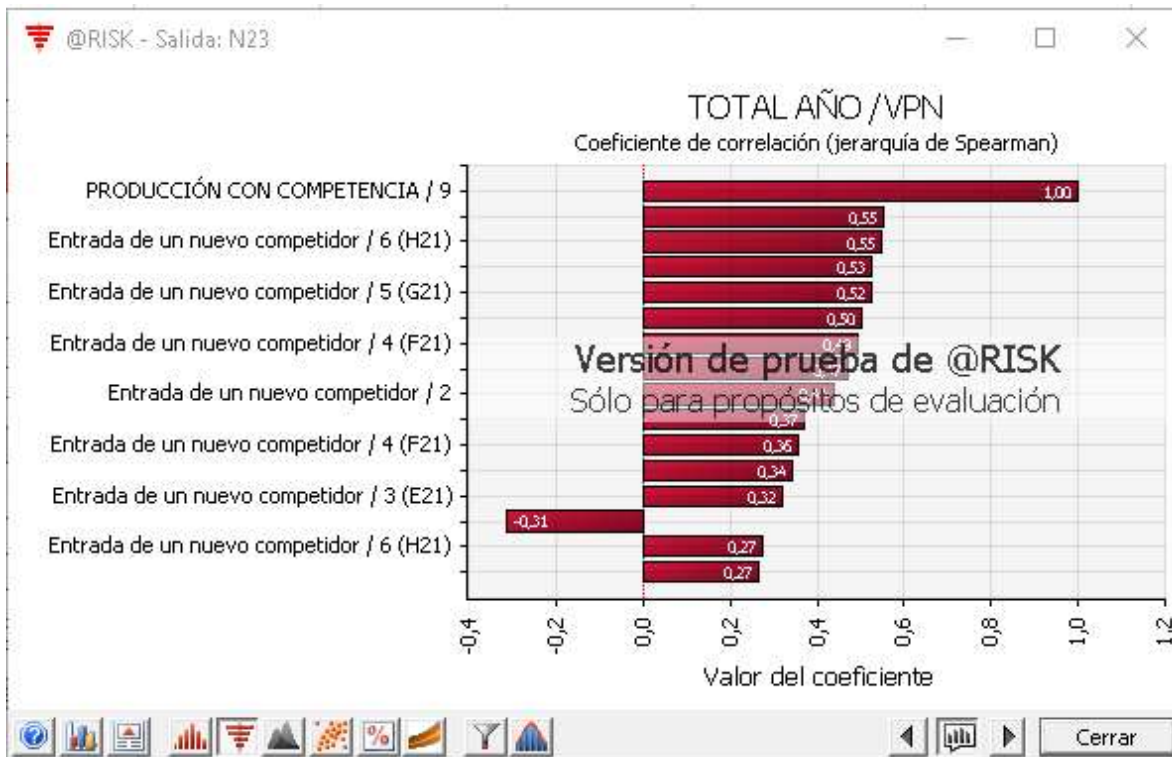
**Ilustración 18:** Gráfica @Risk total impacto real si ocurre evento compostaje

Con una probabilidad del 90% se puede asegurar que el impacto real en compostaje si los eventos ocurren, estará entre \$790'000.000 de pesos y \$6.120'000.000 de pesos.

<b>TIO</b>	20%
<b>VPN Risk</b>	\$ 1.322.673.544,46
<b>YAR</b>	\$ 16.063.900.183,18
<b>VPN Proyecto</b>	\$ 25.870.244.799,02
<b>VPN REAL</b>	\$ 9.806.344.615,83
<b>Ratio Sharp</b>	62%
<b>VPN Libre de riesgo</b>	38%

**Tabla 53:** VPN libre de riesgo compostaje

Nota: en la anterior tabla el *VPN libre de riesgo* se lee como el porcentaje del *VPN proyecto* que resulta de restar el impacto real si ocurren los eventos, es decir, el *VPN REAL*.



**Ilustración 19:** Jerarquía de Spearman compostaje

Para el caso del VPN se puede observar que la variable “entrada de un nuevo competidor” en el año 3 tiene una incidencia negativa, es decir, en el caso que se presente este evento afectará negativamente el VPN. Esto se presenta debido a una disminución en la producción total año de compost.

## 12.4.2 Biodigestión

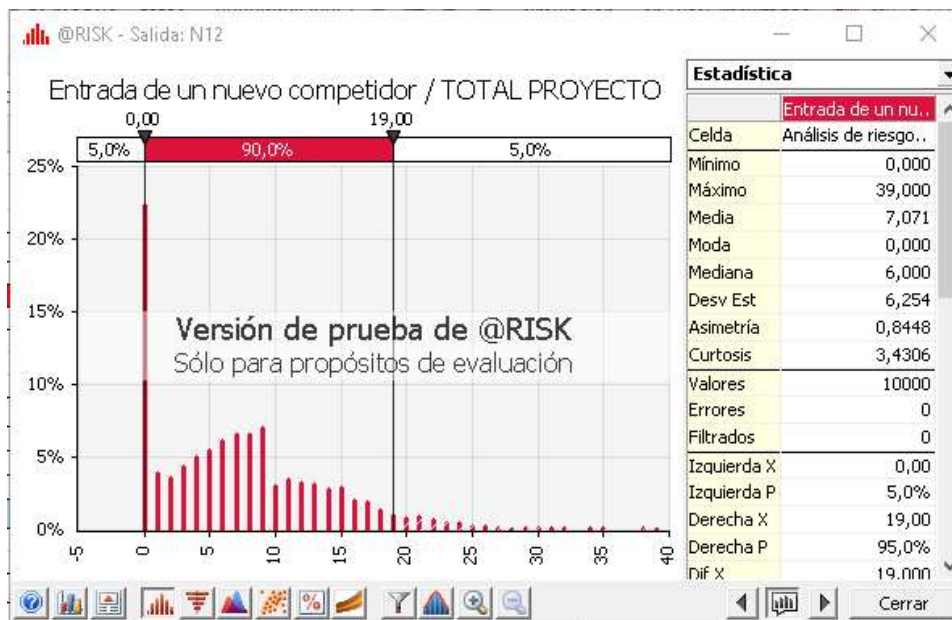
Se realizó la simulación para **biodigestión** para la frecuencia de los eventos y arrojó lo siguiente:

PERIODO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Entrada de un nuevo competidor	0%	15%	16%	18%	17%	16%	16%	15%	14%	14%
Factores ambientales	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
La fuente no separa los residuos correctamente	70%	70%	70%	70%	67%	59%	51%	45%	39%	34%

**Tabla 54:** Probabilidad de ocurrencia eventos biodigestión

PERIODO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL PROYECTO
Entrada de un nuevo competidor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Factores ambientales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
La fuente no separa los residuos correctamente	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	7
<b>TOTAL AÑO</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>7</b>

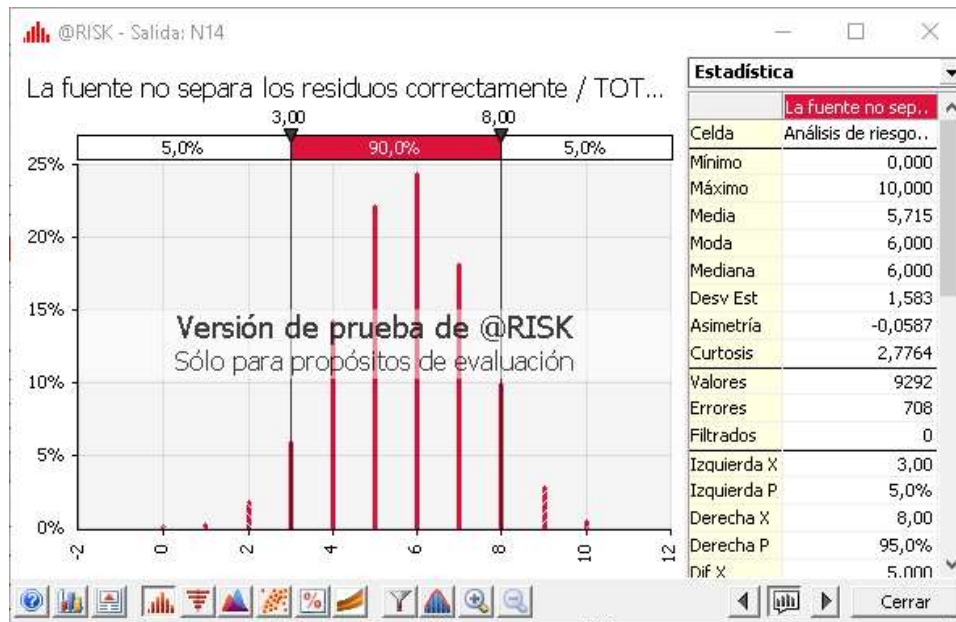
**Tabla 55:** Frecuencia de eventos biodigestión



**Ilustración 20:** Gráfica @Risk evento biodigestión

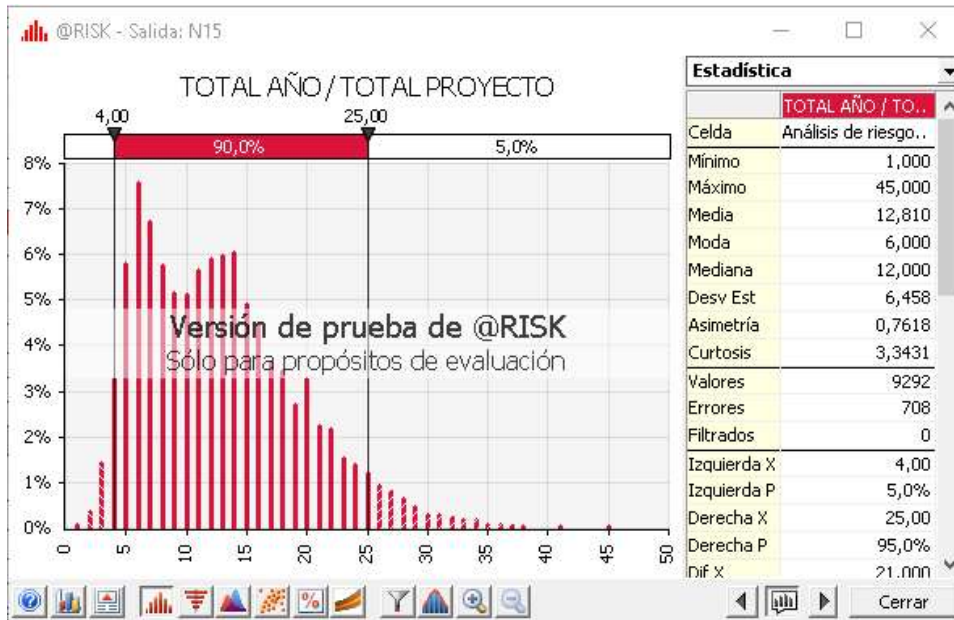
El número mínimo de la frecuencia para el evento **entrada de un nuevo competidor** es de 0,0, un máximo de 39 y una media de 7. Con una probabilidad

de 90% se puede afirmar que la frecuencia de este evento durante todo el horizonte del proyecto estará entre 0,0 y 19 veces.



**Ilustración 21:** Gráfica @Risk evento biodigestión

El número mínimo de la frecuencia para el evento **la fuente no separa los residuos correctamente** es de 0,0, un máximo de 10,0 y una media de 6. Con una probabilidad de 90% se puede afirmar que la frecuencia de este evento durante todo el horizonte del proyecto estará entre 3 y 8 veces.

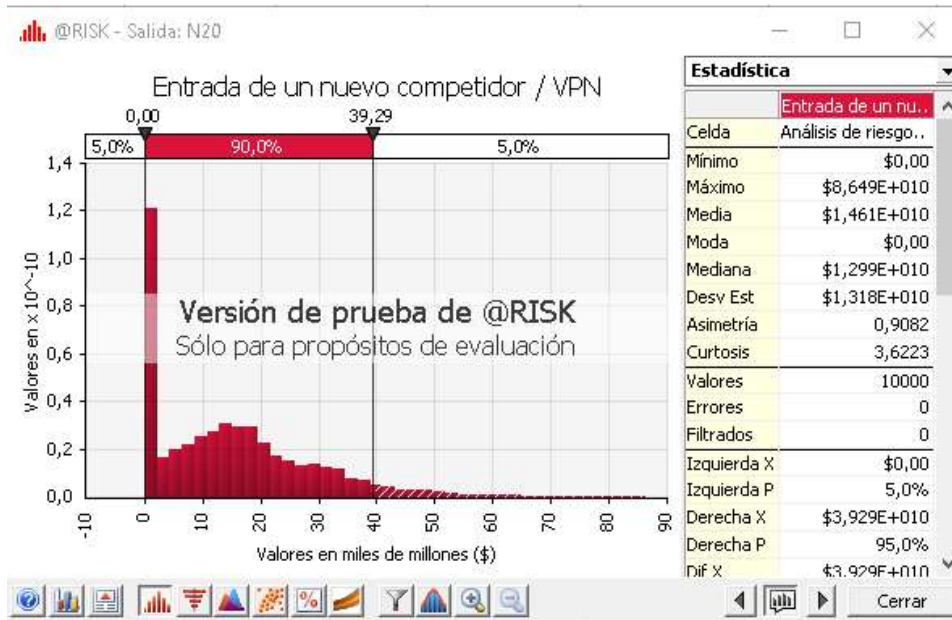


**Ilustración 22:** Gráfica @Risk total eventos biodigestión

El número mínimo de la frecuencia para el total de los eventos es de 1,0, un máximo de 45,0 y una media de 13. Con una probabilidad de 90% se puede afirmar que la frecuencia de estos eventos estará entre 4,0 y 25 veces.

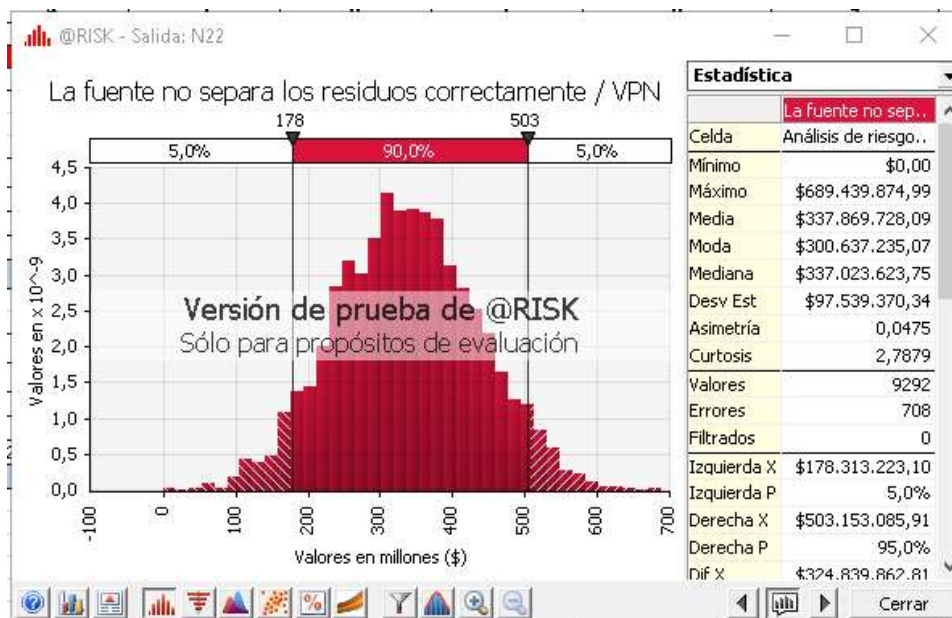
PERIODO	Impacto Real si ocurre										VPN	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Entrada de un nuevo competidor	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 0,00
Factores ambientales	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 0,00
La fuente no repara los residuos correctamente	\$ 73.283.425,21	\$ 88.672.944,51	\$ 107.294.262,85	\$ 129.826.058,05	\$ 157.089.530,24	\$ 190.078.331,59	\$ 229.994.781,23	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 438.323.489,25
<b>TOTAL AÑO</b>	\$ 73.283.425	\$ 88.672.945	\$ 107.294.263	\$ 129.826.058	\$ 157.089.530	\$ 190.078.332	\$ 229.994.781	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 438.323.489,25

**Tabla 56:** Impacto si ocurre biodigestión



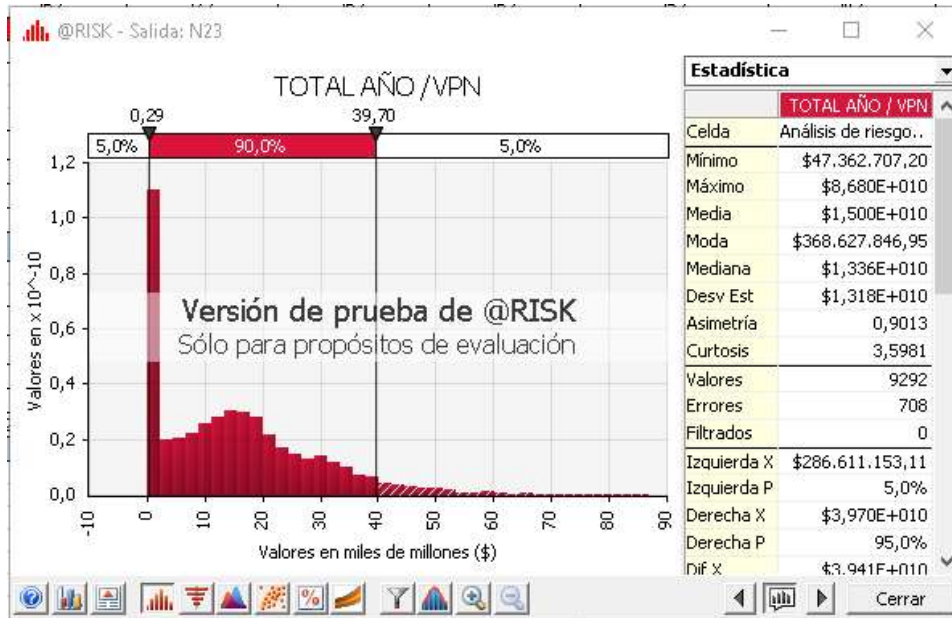
**Ilustración 23:** Gráfica @Risk impacto real si ocurre evento biodigestión

El impacto real si ocurre **entrada de un nuevo competidor** con una probabilidad del 90% se puede asegurar que el impacto estará entre \$0,0 y \$39.290'000.000.



**Ilustración 24:** Gráfica @Risk impacto real si ocurre evento biodigestión

El impacto real si ocurre **la fuente no separa los residuos correctamente** con una probabilidad del 90% se puede asegurar que el impacto estará entre \$178'000.000,0 y \$503'000.000,0.



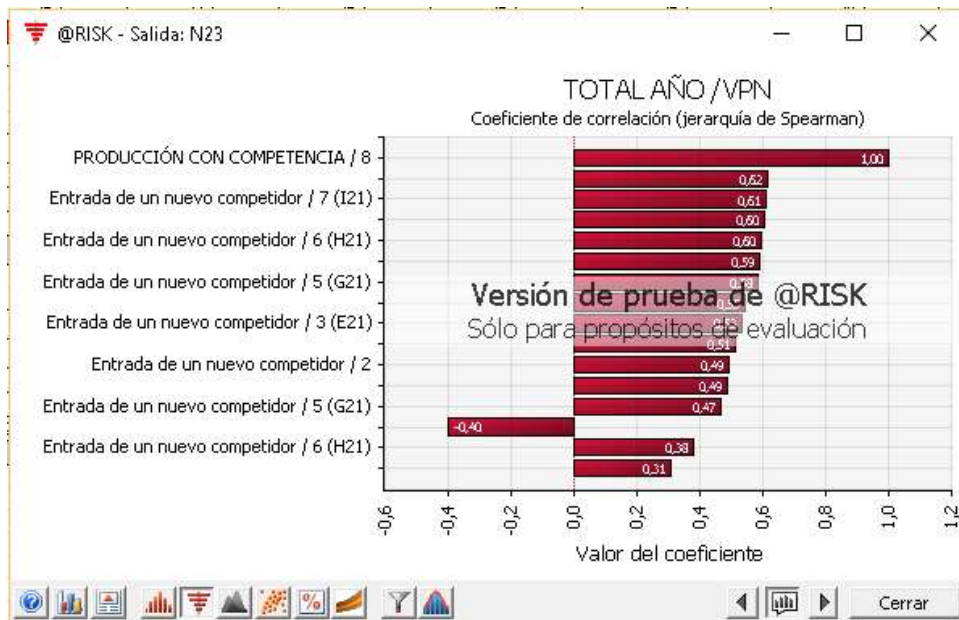
**Ilustración 25:** Gráfica @Risk total impacto real si ocurre evento biodigestión

Con una probabilidad del 90% se puede asegurar que el impacto real en compostaje si los eventos ocurren estará entre \$290'000.000 y \$39.700'000.000.

<b>TIO</b>	20%
<b>YPN Risk</b>	\$ 438.323.489,25
<b>YAR</b>	\$ 16.063.900.183,18
<b>YPN Proyecto</b>	\$ 150.278.710.445,88
<b>YPN REAL</b>	\$ 134.214.810.262,70
<b>Ratio Sharp</b>	11%
<b>YPN Libre de riesgo</b>	89%

**Tabla 57:** VPN libre de riesgo biodigestión

Nota: en la anterior tabla el *VPN libre de riesgo* se lee como el porcentaje del *VPN proyecto* que resulta de restar el impacto real si ocurren los eventos, es decir, el *VPN REAL*.



**Ilustración 26:** Jerarquía de Spearman biodigestión

Para el caso del VPN se puede observar que la variable “entrada de un nuevo competidor” en el año 5 tiene una incidencia negativa, es decir, en que caso que se presente este evento afectará negativamente el VPN. Esto se presenta debido a una disminución en la producción total año de biogas.

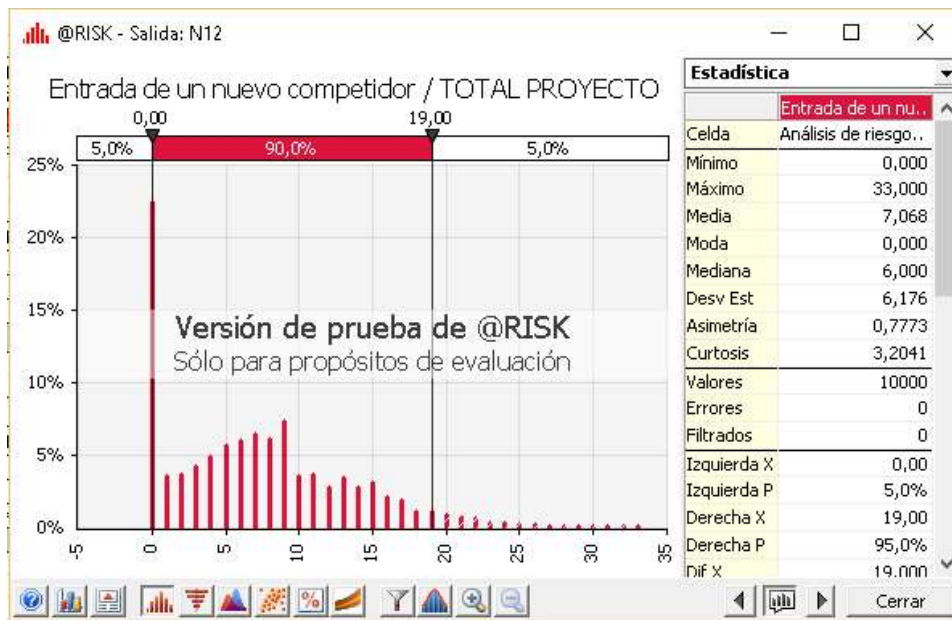
### 12.4.3 Gasificación-Pirólisis

PERIODO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Entrada de un nuevo competidor	0%	15%	16%	16%	17%	16%	16%	15%	14%	14%
Factores ambientales	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
La fuente no separa los residuos correctamente	70%	70%	70%	70%	67%	59%	51%	45%	39%	34%

**Tabla 58:** Probabilidad de ocurrencia eventos gasificación-pirólisis

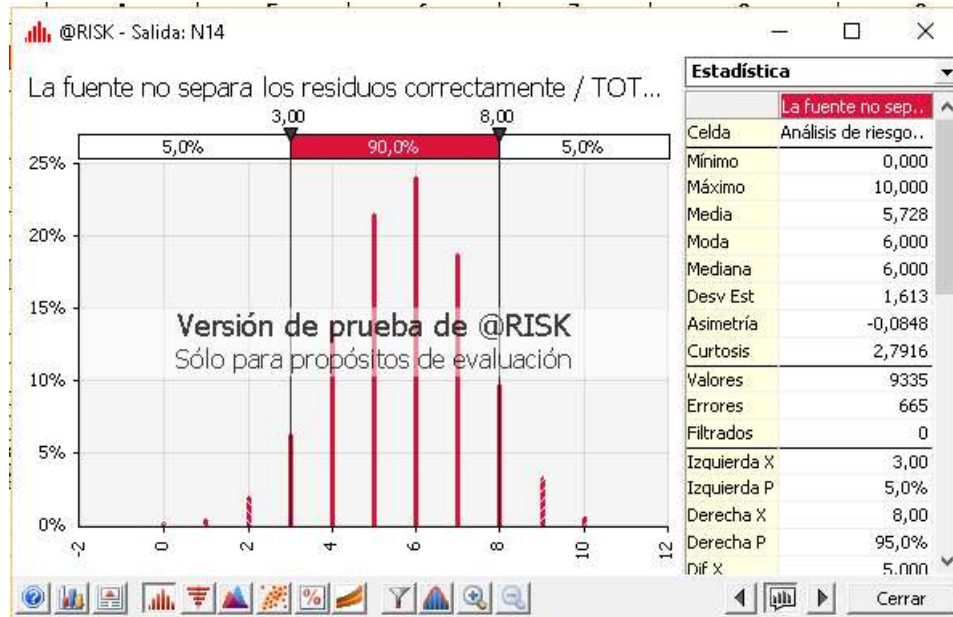
PERIODO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL PROYECTO
Entrada de un nuevo competidor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Factores ambientales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
La fuente no separa los residuos correctamente	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	7
<b>TOTAL AÑO</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>7</b>

**Tabla 59:** Frecuencia de eventos gasificación-pirólisis



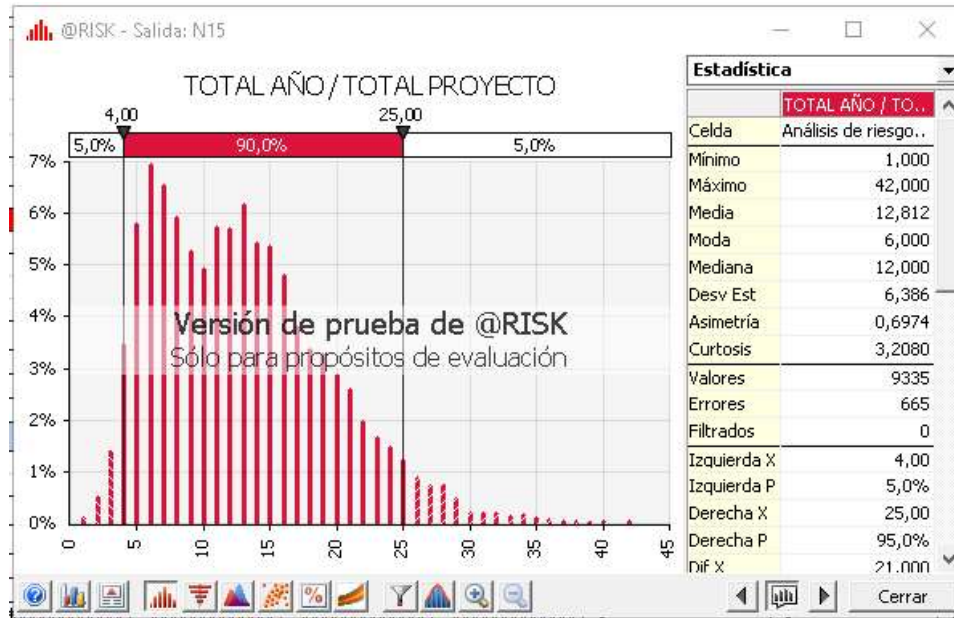
El número mínimo de la frecuencia para el evento **entrada de un nuevo competidor** es de 0,0, un máximo de 33 y una media de 7. Con una probabilidad

de 90% se puede afirmar que la frecuencia de este evento durante todo el horizonte del proyecto estará entre 0,0 y 19 veces.



**Ilustración 27:** Gráfica @Risk evento gasificación-pirólisis

El número mínimo de la frecuencia para el evento **la fuente no separa los residuos correctamente** es de 0,0, un máximo de 10 y una media de 6. Con una probabilidad de 90% se puede afirmar que la frecuencia de este evento durante todo el horizonte del proyecto estará entre 3,0 y 8 veces.

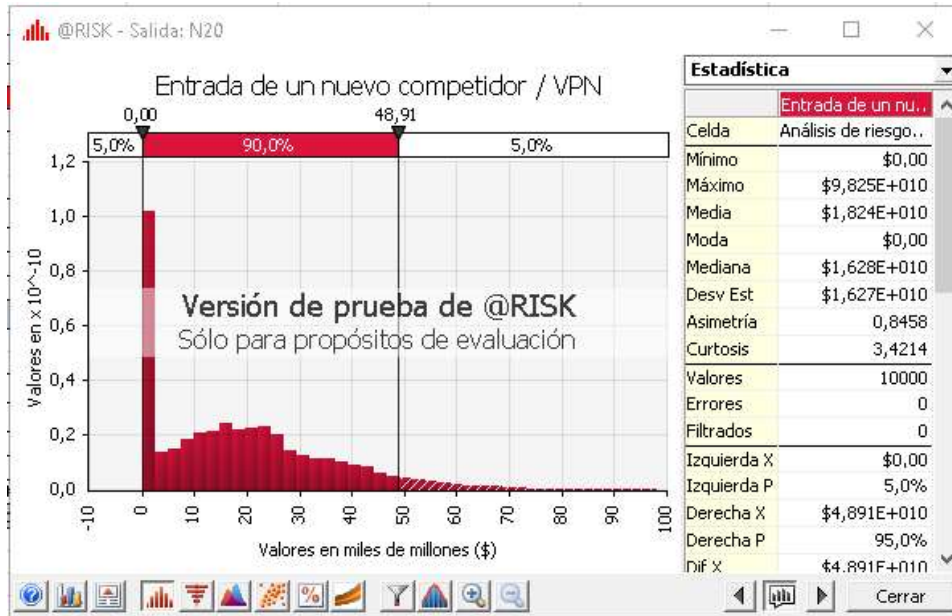


**Ilustración 28:** Gráfica @Risk total evento gasificación-pirólisis

El número mínimo de la frecuencia para el total de los eventos es de 1,0, un máximo de 42,0 y una media de 13. Con una probabilidad de 90% se puede afirmar que la frecuencia de estos eventos estará entre 4,0 y 25 veces.

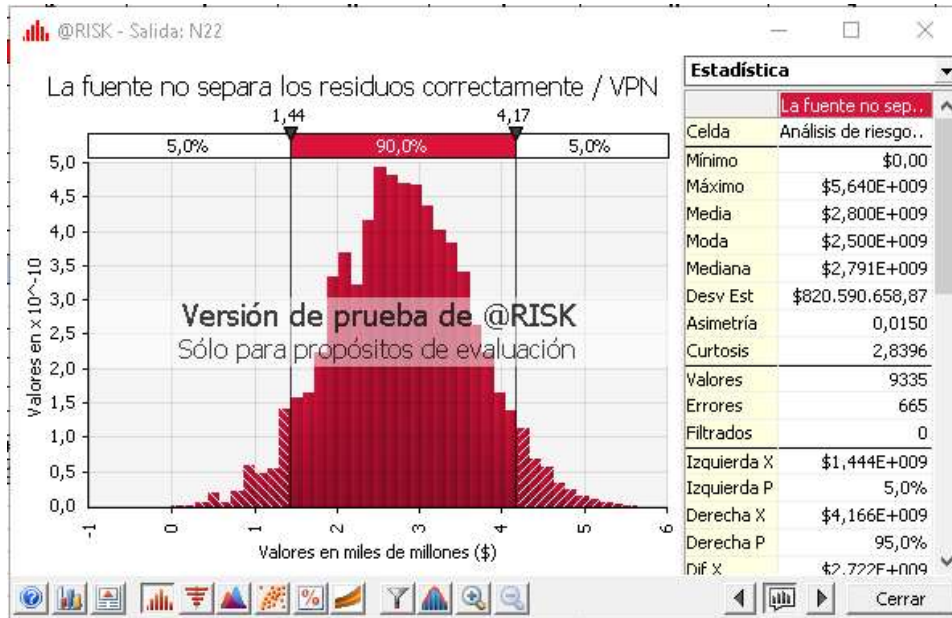
PERIODO	Impacto Real si ocurre										VPN	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Entrada de un nuevo competidor	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 0,00
Factores ambientales	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 0,00
La fuente no separa los residuos correctamente	\$ 604.684.787,85	\$ 731.668.593,43	\$ 885.318.998,05	\$ 1.071.235.987,64	\$ 1.296.195.545,04	\$ 1.568.396.609,50	\$ 1.897.759.897,49	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 3.616.746.152,19
<b>TOTAL AÑO</b>	<b>\$ 604.684.788</b>	<b>\$ 731.668.593</b>	<b>\$ 885.318.998</b>	<b>\$ 1.071.235.988</b>	<b>\$ 1.296.195.545</b>	<b>\$ 1.568.396.609</b>	<b>\$ 1.897.759.897</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ 3.616.746.152,19</b>

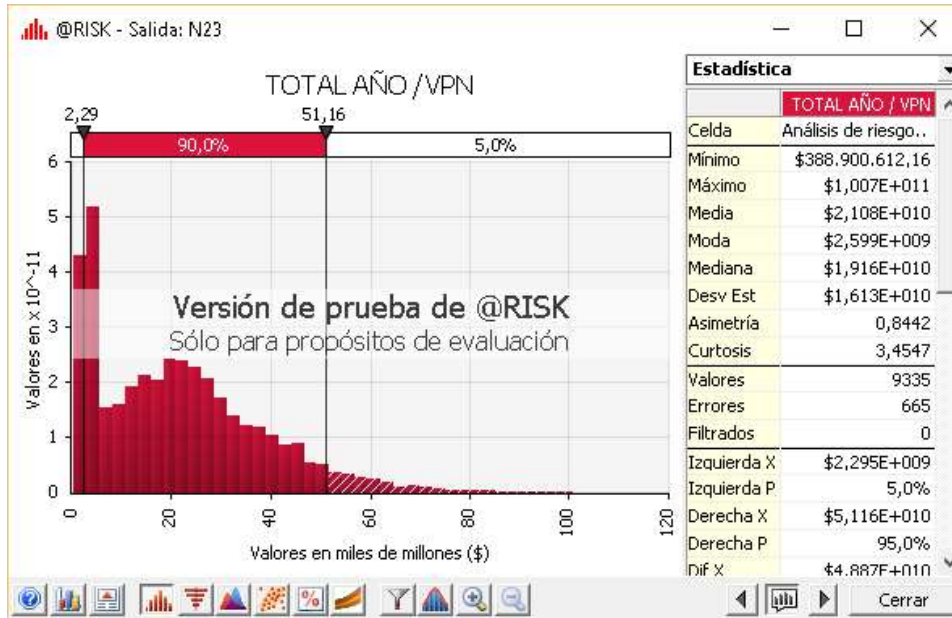
**Tabla 60:** Impacto si ocurre gasificación-pirólisis



**Ilustración 29:** Gráfica @Risk impacto real si ocurre evento gasificación-pirólisis

El impacto real si ocurre **entrada de un nuevo competidor** con una probabilidad del 90% se puede asegurar que el impacto estará entre \$0,0 y \$48.910'000.000.





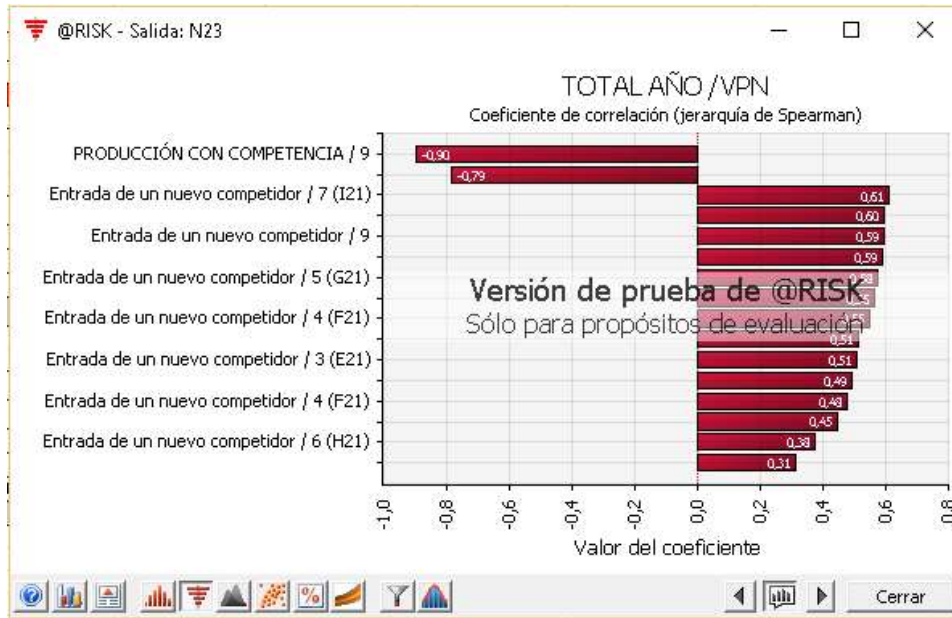
**Ilustración 31:** Gráfica @Risk total impacto real si ocurre eventos gasificación-pirólisis

Con una probabilidad del 90% se puede asegurar que el impacto real en compostaje si los eventos ocurren estará entre \$2.290'000.000 y \$51.160'000.000.

<b>TIO</b>	20%
<b>VPN Risk</b>	\$ 3.616.746.152,19
<b>VAR</b>	\$ 16.063.900.183,18
<b>VPN Proyecto</b>	\$ 139.566.212.178,72
<b>VPN REAL</b>	\$ 123.502.311.995,54
<b>Ratio Sharp</b>	12%
<b>VPN Libre de riesgo</b>	88%

**Tabla 61:** VPN libre de riesgo gasificación-pirólisis

Nota: en la anterior tabla el *VPN libre de riesgo* se lee como el porcentaje del *VPN proyecto* que resulta de restar el impacto real si ocurren los eventos, es decir, el *VPN REAL*.



**Ilustración 32:** Jerarquía de Spearman gasificación-pirólisis

Para el caso del VPN se puede observar que la variable “entrada de un nuevo competidor” en el año 9 tiene una incidencia negativa, es decir, en que caso que se presente este evento afectará negativamente el VPN. Esto se presenta debido a una disminución en la producción total año de biogás.

## 13 CONCLUSIONES

Se identificaron que las variables más significativas para la evaluación y comparación de estos proyectos son el VPN y la TIR, que son afectadas por los eventos externos, en caso tal de que estos ocurran, afectando los costos variables y la cantidad de producción.

El diagrama de influencia con riesgo y sin riesgo se muestra cómo las variables de costos, gastos e ingresos influencia el EBITDA y este tiene influencia sobre la utilidad, además esta es influenciada por la depreciación, diferidos e impuestos, la utilidad afecta el flujo de caja y finalmente, este influencia los valores de la VPN y la TIR. Además, en el diagrama con riesgo se mostró que los tres eventos considerados están influenciando los costos, gastos e ingresos, que por sus interrelaciones afectan el VPN y la TIR, lo que nos permite establecer con claridad cuáles son los factores que están influenciando estas variables de evaluación financiera.

El cálculo del flujo de caja es importante para calcular la VPN que es nuestro indicador de viabilidad, este indicador fue positivo para las tres tecnologías lo que muestra que los proyectos se pueden llevar a cabo desde el enfoque financiero.

Para un análisis comparativo de proyectos de aprovechamiento energético a partir de residuos sólidos biodegradables utilizando evaluación financiera, se puede inferir que las tres tecnologías son una buena inversión, es decir, son rentables, sin embargo, cuando se invierte en un proyecto se espera maximizar la utilidad, de acuerdo a esto, el orden de mayor a menor utilidad será así:

**Biodigestión** con una TIR de 330% y un VPN de \$135.703.490.085,87 de pesos; **Gasificación-pirólisis** con una TIR de 91% y una VPN de \$127.707.360.193,92 de pesos; **Compostaje** con una TIR de 91% y una VPN de \$10.845.808.039,04 de pesos.

Además, de ser una buena inversión cualquiera de las tres tecnologías, se pueden adaptar a la cantidad de dinero que tenga el inversionista para la inversión inicial, es decir, puede servir como un portafolio de inversión.

De acuerdo con los resultados del análisis de riesgo de las tres tecnologías, los eventos *entrada de un nuevo competidor* y *factores ambientales: lluvia* afectan considerablemente la producción, y el evento *la fuente no separa los residuos* afecta los costos variables, en la medida que se necesitan más horas hombre para acondicionar los residuos antes de entrar en los procesos de tratamiento. Todo lo anterior, se ve reflejado en una disminución del VPN así:

Para la tecnología de **compostaje**, el VPN libre de riesgo es de 38%, siendo este el más afectado por los eventos.

Para la tecnología de **biodigestión**, el VPN libre de riesgo es de 89%, aunque el porcentaje que se pierde si ocurren los eventos, se puede decir que es bajo, la VPN es considerablemente buena.

Para la tecnología de **gasificación-pirólisis**, el VPN libre de riesgo es de 88%, al igual que la tecnología de la biodigestión, se puede decir que es considerablemente buena.

En las gráficas de la Jerarquía de Spearman muestra la incidencia negativa de estos eventos, lo que afecta negativamente el VPN.

La mayor dificultad que se tuvo en el estudio fue encontrar casos de estudios similares. Ya que se necesitaba una referencia que permitiera realizar el análisis comparativo.

Dentro del análisis comparativo se pudo evidenciar la utilidad del software de análisis de riesgo, los resultados son la afectación de las variables financieras por medio de análisis probabilísticos. Dentro de los casos más relevantes se encuentra la variación de la TIR en más de 100 puntos porcentuales para la biodigestión por la ocurrencia de temporada de lluvias o nuevos competidores.

Las consecuencias de este estudio pueden ser positivas, ya que para los usuarios que quieran ejecutar un proyecto AEROB, se ve que el análisis comparativo permite dar los primeros pasos antes de hacer la ejecución de un proyecto, por medio de una evaluación financiera simple, llegando más allá del proyecto rígido que involucra una sola opción de inversión y/o tecnología. El análisis comparativo desarrollado, permite ampliar las opciones frente a una sola necesidad. Además, gracias a este, se puede ver los requerimientos en el tamaño del proyecto tanto física como financieramente, permitiendo evaluar el grado de inversión y el riesgo financiero en un solo análisis.

Los resultados finales variaron significativamente al incluir las variables cualitativas (eventos), disminuyendo el VPN cada vez que estos eventos se incluían en la simulación.

Es factible que el análisis comparativo pueda ser utilizado para otros tipos de residuos y no solamente para los RSU ya que el esquema es el mismo. Para otro tipo de residuos, solo se debe averiguar la eficiencia de ese residuo para cada tecnología y actualizar los valores de los insumos e inversiones.

## 14 RECOMENDACIONES

- Las limitaciones del análisis comparativo recaen principalmente en los supuestos que se deben tomar y que en ocasiones se alejan de la realidad. Variables de entrada como las comisiones de ventas, los impuestos, el gradiente de crecimiento de la demanda o de la producción o la inflación. Algunas de estas variables son exógenas, otras son probabilísticas o determinísticas según sea el caso del usuario. El análisis comparativo puede ser mejorado o adaptado en una segunda etapa.
- Existen otros aspectos que no se incluyeron y pueden ser factores decisivos en el nivel del impacto ambiental de cada una de las tecnologías. Por ejemplo, en gasificación-pirolisis existe eliminación de toxinas las cuales no entran en el impacto económico, pero sí ambiental. Esta clase de aspectos pueden ser incluidos en el análisis probabilístico como @Risk.

## 15 BIBLIOGRAFÍA

- Arboleda Rave, M. O. (2015). Tecnología de plasma para el tratamiento de los residuos sólidos. *Revista ingeniería, matemáticas y ciencias de la información*, 33-40.
- BanRep. (2012-2015). Índice de Precios al Consumidor (IPC). Obtenido de <http://www.banrep.gov.co/es/ipc>
- BanRep. (Junio de 2016). Obtenido de <http://www.banrep.gov.co/es/inflacion-jun-2016>
- Bautista Buhigas, A. (2010). Sistema biodigestor para el tratamiento de desechos orgánicos. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid Escuela Politécnico Superior.
- Bermúdez Lopera, V., & Valderrama Agudelo, J. A. (2012). Evaluación, Automatización y puesta en marcha del sistema de digestión anaerobia de la Universidad EAFIT. Medellín.
- Cortázar Dueñas, M. (2014). Estudio comparativo de tecnología comerciales de valorización de residuos sólidos urbanos. Leiaio-Bilbao: Universidad del País Vasco.
- DIAN. (2014). ABC del CREE. Obtenido de [http://www.dian.gov.co/contenidos/otros/Preguntas\\_Cree\\_2014.html](http://www.dian.gov.co/contenidos/otros/Preguntas_Cree_2014.html)
- DIAN. (2014b). Obtenido de <http://www.dian.gov.co/DIAN/12SobreD.nsf/pages/Impuestosinternos?OpenDocument>
- EPM. (Agosto de 2015). Tarifas y Costo de Energía Eléctrica - Mercado Regulado. Obtenido de <http://www.epm.com.co>
- Estudios y Técnicas Especializadas en Ingeniería S.A. de C.V. (2006). Estudio de Pre-factibilidad para el aprovechamiento del biogas generado en el relleno sanitario Don Juanito municipio de Villavicencio, Colombia. Villavicencio.

- Gerencie. (12 de Mayo de 2016). Para qué nos sirve el Ebitda. Obtenido de <http://www.gerencie.com/para-que-nos-sirve-el-ebitda.html>
- Gómez Salazar, E., & Diez Benjumea, J. (2011). Evaluación financiera de proyectos - Primera edición. Medellín.
- Gómez, E., Mora, A., & Uribe, R. (2015). Análisis de riesgos en proyectos con @Risk: casos prácticos de evaluación financiera de proyectos y costos con análisis de riesgo. Segunda edición. Medellín.
- Jaramillo Henao, G., & Zapata Márquez, L. M. (2008). Aprovechamiento de los residuos orgánicos en Colombia. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Kuan, Y. C. (2014). VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE RESIDUOS ORGÁNICOS BIODEGRADABLES EN LA UNIVERSIDAD EAFIT. Medellín.
- Lopez, M. G. (2003). Biodigestión anaérobica de residuos sólidos urbanos. Alternativa energética y fuente de trabajo. Tecnura, 31-43.
- Monje Cillero, B. (2012). Análisis de viabilidad de una planta de tratamiento de residuos por plasma. Madrid: ICAI-Universidad Pontificia Comillas.
- Shammas, N., & Wang, L. (2007). Biosolids composting. En N. Shammas, & L. Wang, Biosolids treatment processes.
- Shilev, S., Naydenov, M., Vancheva, V., & Aladjadjyan, A. (2007). Composting of Food and Agricultural Wastes (Vol. 3). United States: Springer Science - Business Media, LLC. doi:10.1007/978-0-387-35766-9\_15
- Taborda González, P., Aguilar Virgen, Q., & Armijo de Vega, C. (2009). La tecnología de plasma y residuos sólidos. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 13-2, 51-56.
- Tortarolo, M. F., Pereda, M., Palma, M., & Arrigo, N. M. (2008). Influencia de la inoculación de microorganismos sobre la temperatura en el proceso de compostaje. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

- UE. (2010). Informe complementario sobre el estudio de soluciones viables para el aprovechamiento del biogas en extremadura, en el marco del proyecto de cooperación transfronteriza España-Portugal Altercexa, para el apoyo al cambio climático a través del fomento... Extremadura: Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente.
- UPME. (2012). Sistema de Información Minero Energético. Obtenido de [http://www.upme.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta\\_Balance.aspx?IdModulo=3](http://www.upme.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta_Balance.aspx?IdModulo=3)
- Uribe López, J. P., Vanegas Barrera, A., & Cardona González, F. A. (2004). Plan de negocios para la creación de una planta de procesamiento de residuos sólidos urbanos para la producción de compost: viabilidad para tres ubicaciones en la ciudad de Bogotá y sus alrededores. Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana.
- EPA, 2016. Financing Anaerobic Digestion Projects. Recuperado de <http://www.epa.gov/agstar/tools/financing/index.html>
- BARRILERO LEZAMA-LEGUIZAMÓN, Ignacio. Identificación de variables relevantes en modelos de toma de decisiones con diagramas de influencia. Madrid, 2008, 178p. Trabajo de fin de carrera. Universidad Politécnica de Madrid.
- CASTILLO, E.F.; CRISTANCHO, D.E.; ARELLANO, V. Estudio de las condiciones de operación para la digestión anaerobia de residuos sólidos urbanos. En: Revista Colombiana de Biotecnología. Vol. 5 Núm. 2 (Febrero 2003).
- CECCHI, F.; TRAVERSO, P.G. State of art of research and development in the anaerobic digestion process of municipal solid waste. En: Biomass Vol.26 Num. 4 (Abril 1988).
- FARIAS, D.M.; BALLETEROS, M.I.; BENDECK, M. Variación de parámetros físico-químicos durante un proceso de compostaje. En: Revista Colombiana de Química. Vol. 28 Num. 1. P75-86.

MARTÍNEZ LOZANO, Sergio. Evaluación de la biomasa como recurso energético renovable en Cataluña. Girona, 2009, 285p. Tesis Doctoral. Universitat de Girona. Facultad de Ingeniería Química. Laboratorio de Ingeniería Química Ambiental.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Observatorios Ambientales Urbanos [on line]. Abril 204. [citado 5 de jun., 2013] Disponible en Internet: <http://web.minambiente.gov.co/oau/nivel3.php?indicador=GTRS&observ=6>

SALAS, J.E.; GIRALDO, E. Aprovechamiento económico de los desechos sólidos municipales: modelo de análisis para la evaluación financiera: reciclaje y compostación sólidos. En: Memos de investigación N°257 (Marzo 1996). Santafé de Bogotá.

SHACHTER, Ross. An Ordered Examination of Influence Diagrams. En: Networks. Vol. 20 (March 1990). P. 535-563.

SKINNER, J.H. Worldwide MSW Market Reaches \$100 Billions: A report from the ISWA World Congress. Swana CEO Report. Swana Newsletter. Septiembre 2000. TCHOBANOGLUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. Gestión integral de residuos sólidos. Madrid: McGraw Hill, 1994. 1107p.

TCHOBANOGLUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. Gestión integral de residuos sólidos. Madrid: McGraw Hill, 1994. 1107p.

VALENTÍN BOTIJA, Sergio. Proyecto de una central eléctrica de biomasa. Leganés, 2011, 142p. Tesis de Grado. Universidad Carlos III de Madrid Escuela Politécnica Superior. Departamento de Ingeniería Eléctrica.

VÁSQUEZ, Oscar. Modelo de simulación de gestión de residuos sólidos domiciliarios en la Región Metropolitana de Chile. En: Dinámica de Sistemas. Vol. 1 Núm. 1 (Septiembre 2005). P. 27-52.

## ANEXOS

### Anexo A

Archivo Excel Análisis comparativo de proyectos utilizando evaluación financiera.xls  
(Este archivo se debe ejecutar en un equipo que tenga instalado el software @Risk)