



Institución Universitaria

**DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA EN EXCEL PARA
LA EVALUACIÓN DE PROCESOS DE MANUFACTURA DE
PRODUCTOS DE ALUMINIO UTILIZANDO UN ENFOQUE
DE SOSTENIBILIDAD**

OLGA PATRICIA BEDOYA JIMÉNEZ

Instituto Tecnológico Metropolitano

Facultad de Ingenierías

Medellín, Colombia

2014

DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA EN EXCEL PARA LA EVALUACIÓN DE PROCESOS DE MANUFACTURA DE PRODUCTOS DE ALUMINIO UTILIZANDO UN ENFOQUE DE SOSTENIBILIDAD

OLGA PATRICIA BEDOYA JIMÉNEZ

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título
de:

Magister en Gestión Energética Industrial

Director (a):

Ph.D. RAMÓN FERNANDO COLMENARES QUINTERO

Grupo de Investigación:

MATYER. Materiales Avanzados y Energía

Línea de Investigación:

Computación Avanzada y Diseño Digital

Instituto Tecnológico Metropolitano

Facultad de Ingenierías

Medellín, Colombia

2014

(Dedicatoria)

A mis padres y hermanos, por su apoyo incondicional, por su colaboración y paciencia durante estos años difíciles.

A Fernando Colmenares Q. Por ser mí guía, mi colaborador, por inyectarme ánimo y por compartir sus conocimientos conmigo.

Agradecimientos

A Dios por absolutamente todas sus bendiciones.

A mi madre Irma Jiménez Villa, a mi padre Leonardo Bedoya Jiménez, por toda su colaboración, motivación e incondicional amor, a mi hermano Julián Esteban Bedoya Jiménez, el ingeniero más perspicaz, por todo su apoyo, conocimiento y ayuda permanente, a mi hermana Valentina Bedoya Jiménez, por ser mi alegría y mi motivación.

A mi asesor el Post-Doctor Ramón Fernando Colmenares Quintero, por su disposición y cooperación permanente, por estar siempre pendiente de mi proceso académico y por su gran calidad humana.

A todas las personas con las que he compartido este largo y difícil camino, en busca de mi superación académica.

Gracias, mil gracias y todas las bendiciones de Diosito.

Resumen

En el proceso de manufactura de aluminio, cada una de las etapas es significativa, algunas de ellas más complejas, en las cuales el consumo de energía eléctrica es representativo. Esto conlleva al aumento de emisiones al ambiente debido a su relación directa. Por tal motivo, es importante diseñar los procesos de manufactura lo más sostenibles posibles.

Teniendo en cuenta que el aluminio es un material totalmente reciclable, en este trabajo se desarrolla una herramienta computacional, como estrategia que permita considerar aspectos relevantes como las emisiones y la viabilidad económica, apoyando el proceso de toma de decisiones en la manufactura del aluminio.

En esta tesis de Maestría se presenta una herramienta computacional en Microsoft Excel® que apoya la toma de decisiones en los procesos de producción de aluminio, utilizando un enfoque de sostenibilidad ambiental y económica. La aplicación de la herramienta permite hacer un análisis completo de cada uno de los procesos en términos ambientales y económicos con el fin de obtener un sistema sostenible.

Palabras clave: Manufactura de Aluminio, herramienta en Microsoft Excel®, Sostenibilidad.

Abstract

In the process of aluminum manufacturing, each one of the phases is significant. Some of them more complex, in which the consumption of electric energy is representative. This leads to an increase of emissions in the environment due to its direct relationship, because of this, it is important to design the processes of manufacturing as sustainable as possible.

Taking into account that aluminum is a completely recyclable material, in this project a computational tool is developed like a strategy, which allows to consider relevant aspects like emissions and economic viability, supporting the process of making decisions in the manufacturing of aluminum.

In this Master's degree thesis a computational tool in Microsoft Excel® is presented, which supports the decision making in the process of aluminum production, using an approach to environmental and economic sustainability. The enforcement of this tool allows to make a complete analysis of each one of the processes in environmental and economic terms, to obtain a sustainable system.

Keywords: Aluminum Manufacturing, Microsoft Excel-based tool, Sustainability.

Contenido

	<u>Pág.</u>
Resumen	IX
Abstract	X
Lista de figuras	XIII
Lista de tablas	XV
Lista de Símbolos y abreviaturas	XVI
Introducción	1
1. Marco Teórico	3
1.1 Manufactura de Productos de Aluminio	3
1.1.1 Producción de Aluminio Primario	4
1.1.2 Producción de Aluminio Secundario.....	7
1.2 Sostenibilidad	9
1.2.1 Desarrollo Sostenible (Sustainable Development).....	11
1.2.2 Manufactura Sostenible.....	22
1.3 Manufactura Sostenible	26
1.3.1 Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing).....	26
1.3.2 ACV – Análisis del Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment LCA)	32
1.4 Indicadores de Sostenibilidad	36
1.4.1 Indicadores	40
1.4.2 Índices	41
1.4.3 Indicadores Ambientales	42
1.4.4 Indicadores Económicos	51
2. Herramienta en Microsoft Excel®	65
2.1 Desarrollo de la herramienta en Microsoft Excel® del modelo económico y el modelo ambiental de procesos de manufactura de productos de aluminio.	65
2.1.1 Modelo Económico.....	68
2.1.2 Modelo Ambiental.	73
2.2 Validación de la herramienta en Microsoft Excel® del modelo económico y el modelo ambiental de procesos de manufactura de productos de aluminio.	74
2.3 Validación de resultados con cálculos manuales del modelo ambiental.....	82
2.4 Validación de resultados con cálculos de otra herramienta del modelo económico.....	85
3. Conclusiones y recomendaciones	89
3.1. Conclusiones	89
3.2. Recomendaciones	90
Bibliografía	92

Lista de figuras

	<u>Pág.</u>
Figura 1-1: Proceso Productivo de Aluminio.	5
Figura 1-2: Proceso de Bayer (Alúmina).	5
Figura 1-3: Proceso de Hall – Heroult.	6
Figura 1-4: Diagrama esquemático del proceso de producción de aluminio primario.	7
Figura 1-5: (a) La interdependencia cósmica; (b) la prioridad operativa del modelo de desarrollo sostenible.	12
Figura 1-6: Evolución de la temperatura de la tierra 1850-2010. (Adaptado de Payri et al, 2011)	15
Figura 1-7: Cadena de valor. Muestra la producción entre operaciones con y sin valor.	27
Figura 1-8: La casa del Sistema de Producción Toyota.	29
Figura 1-9: Fases de un ACV de acuerdo a ISO 14040 de 1997. (ISO 1404-1997)	32
Figura 1-10: Estructura ISO para la metodología Análisis del Ciclo de Vida. (Modificado de Trama y Troyano, 2002)	33
Figura 1-11: Ciclo de vida de un producto (ISO 14040-1997)	35
Figura 1-12: Etapas y aplicaciones directas del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) en los procesos de Manufactura. (ISO 14040-1997)	36
Figura 1-13: Marco de la estructura jerárquica del Reporte de Iniciativa Global (GRI) (Fuente GRI 2002a)	39
Figura 1-14: Huella Ecológica de la humanidad (1961-2003). (Humanity's Ecological Footprint, 1961-2003).	43
Figura 1-15: Emisiones por uso de electricidad. (EPA, 2005)	48
Figura 1-16: Conversiones a CO ₂ eq. (EPA, 2005)	48
Figura 1-17: Resumen de las emisiones de gases de efecto invernadero en ciclo de vida de las centrales seleccionadas. Energía Eólica. (Weisser, 2007)	51
Figura 1-18: Diagrama de flujo (prestatario). (Varela, 1997)	57
Figura 1-19: Diagrama de flujo (prestamista). (Varela, 1997)	57
Figura 1-20: Diagrama de flujo de efectivo para el factor de pago único (F dado P). (Blank y Tarquin, 2008).	59
Figura 1-21: Diagrama de flujo de efectivo para el factor del valor presente de pago único (P dado F). (Blank y Tarquin, 2008).	59
Figura 1-22: Diagrama de flujo para una serie de pagos compuestos iguales (F dado A). (Blank y Tarquin, 2008).	60
Figura 1-23: Diagrama de flujo para una serie uniforme de pagos (A dado F). (Blank y Tarquin, 2008).	61

Figura 1-24: Diagrama de flujo para una serie uniforme de pagos (*A* dado *P*). (Blank y Tarquin, 2008). 62

Figura 1-25: Diagrama de flujo para una serie uniforme de pagos (*P* dado *A*). (Blank y Tarquin, 2008). 62

Figura 2-1: Diagrama de flujo del Proceso de Manufactura de Productos de Aluminio. 66

Figura 2-2: Diagrama de Sostenibilidad Organizado para Modelo Económico y Modelo Ambiental. 67

Figura 2-3: Macro de Visual Basic en Microsoft Excel®..... 68

Figura 2-4: Formulario de entrada de datos “*Economic model inputs*” 69

Figura 2-5: Encabezado del formulario. 70

Figura 2-6: Costos de la compañía. 71

Figura 2-7: Gastos de la compañía. 71

Figura 2-8: Ventas de la compañía. 71

Figura 2-9: Pestaña “*Details*” 72

Figura 2-10: Pestaña “*Economic Model Outputs*” 72

Figura 2-11: Pestaña “*Environmental Model Inputs*” 73

Figura 2-12: Pestaña “*Environmental Model Outputs*” 73

Figura 2-13: Validación “*Economic Model Inputs*” 74

Figura 2-14: Resultados pestaña “*Details*” 77

Figura 2-15: Resultados pestaña “*Costs*” 77

Figura 2-16: Resultados pestaña “*Expenses*” 78

Figura 2-17: Resultados pestaña “*Economic Model Output*” 78

Figura 2-18: Datos en pestaña “*Environmental Model Inputs*” 79

Figura 2-19: Datos en pestaña “*Environmental Model Outputs*” 79

Figura 2-20: Gráfico de VPN para Energía Eléctrica y Energía Eólica. 80

Figura 2-21: Gráfico de TIR para Energía Eléctrica y Energía Eólica..... 81

Figura 2-22: Gráfico de Emisiones de CO₂eq para Energía Eléctrica y Energía Eólica. 81

Figura 2-23: Resultados para caso de estudio, Modelo Ambiental..... 82

Figura 2-24: Resultados para caso de estudio, Modelo Económico..... 85

Figura 2-25: Resultados Modelo Económico. VPN para Energía Eléctrica. Calculadora. 85

Figura 2-26: Resultados Modelo Económico. VPN para Energía Eólica. Calculadora.86

Figura 2-27: Resultados Modelo Económico. TIR para Energía Eléctrica. Calculadora. 87

Figura 2-28: Resultados Modelo Económico. TIR para Energía Eólica. Calculadora. 87

Lista de tablas

	<u>Pág.</u>
Tabla 1-1: Ejemplo: Emisiones Indirectas con 5000 MWh de Electricidad, usando la base de datos eGrid. (EPA, 2005).....	49
Tabla 2-1: Datos caso de estudio para validación.	75
Tabla 2-2: Descripción de valores resultantes de la herramienta.	76
Tabla 2-3: Resultados para caso de estudio, Modelo Ambiental. Cálculos manuales.	82
Tabla 2-4: Comparación Modelo Ambiental en Excel y Manual.....	83
Tabla 2-5: Comparación Modelo Económico en Excel y en Calculadora 2014.....	88
Tabla 3-1: Comparativo Energía Eólica.....	90

Lista de Símbolos y abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
CERES	Coalición para la Economía Ambientalmente Responsable
CRFEC	Committee on Radiative Forcing Effects on Climate
DALY	Años de Vida Ajustados por Discapacidad
EIA	Energy Information Administration U.S.
EPA	Environmental Protection Agency U.S.
EPIs	Índice de Desempeño Ambiental para las Industrias
FNE	Flujo Neto Efectivo
GHG	Greenhouse Gas
GIE	Gases de Efecto Invernadero
GRI	Reporte de Iniciativa Global
HE	Huella Ecológica
IAI	International Aluminium Institute
IEA	International Energy Agency
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	International Organization Standardization
LCA	Life Cycle Assessment
NACFAM	Consejo Nacional de Manufactura Avanzada de Estados Unidos
NECD	Directiva Techos Nacionales de Emisión – España
NWPP	National Waste Prevention Programme
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONG	Organización de las Naciones Unidas
PIB	Producto Interno Bruto
PRIEN	Programa de Investigaciones en Energía
SCAEI	Sistema Integrado de Contabilidad Ambiental y Económica

SETAC	Society of Environmental Toxicology And Chemistry
TIR	Tasa Interna de Retorno
TMAR	Tasa Mínima Atractiva de Rendimiento
TPS	Sistema de Producción de Toyota
UNEP	United Nations Environment Programme
VPN	Valor Presente Neto
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
WHM	World Health Organization
WMO	World Meteorological Organization
WIP	Work In Process
WWF	World Wildlife Fund for Nature

Sustancias Químicas:

Al	Aluminio
Al ₂ O ₃	Alúmina
CFC	Clorofluorocarbonos
CF ₄	Tetrafluorometano
C ₂ F ₆	Hexafluoroetano
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
HFC	Hidrofluorocarbonos
HNO ₃	ácido nítrico
H ₂ SO ₄	ácido sulfúrico
Na ₃ AlF ₆	Criolita
NO _x	Óxidos de Nitrógeno
N ₂ O	Óxido Nitroso
PFCs	Perfluorocarbonos
SO ₂	Dióxido de Azufre

Introducción

En la actualidad, los avances en los recursos tecnológicos se han manifestado en la industria como una opción de adelanto y desarrollo, permitiendo la optimización del tiempo de producción, manejo adecuado de productos y minimización de costos en los diferentes procesos de manufactura.

El caso de estudio es la manufactura de productos de aluminio, ya que el aluminio, además de tener altos consumos energéticos en sus procesos, tiene aplicabilidad en muchas industrias, que van desde la construcción hasta la aeroespacial. Por otro lado, se tiene en cuenta la implementación de sistemas energéticos renovables como es la energía eólica y sistemas energéticos convencionales como es el caso de las termoeléctricas, esto con el fin de llegar a conclusiones importantes en términos de sostenibilidad económica y ambiental.

Este trabajo se realiza en busca de orientar procesos de manufactura en la producción de aluminio con un enfoque de sostenibilidad, que cree conciencia en temas como costos, programas técnicos y de calidad, para hacer los procesos flexibles. La sostenibilidad es un tema de oportuno en esta época, que tiene como objetivo principal satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (Brundtland, 1987), para tal caso todas las fases durante la vida del producto deben ser consideradas. Por lo anterior, el desarrollo sostenible se refiere a las tres dimensiones de la sostenibilidad: ecológica, económica y social. Para la realización de este trabajo se van a tener en cuenta los aspectos ambiental y económico, se deja para trabajo futuro el análisis del aspecto social.

El estudio realizado cuantifica las entradas y salidas significativas en los procesos de manufactura de aluminio, las categorías de entrada incluyen gran parte de la masa de la

materia prima identificada en el sistema y un alto porcentaje de energía consumida. En el análisis del aspecto ambiental se incluyen las emisiones y los impactos ambientales, teniendo en cuenta los valores de los índices de sostenibilidad, para verificar y comparar con las normas ambientales. El análisis del aspecto económico se orienta a la evaluación del Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), el análisis económico es totalmente pertinente y necesario, aporta información de los gastos y consumos en los procesos de manufactura.

Para llegar a que los procesos de producción de aluminio sean procesos de manufactura sostenible, se investigan dos metodologías que ofrecen características de análisis muy importantes para la determinación de ciertos criterios y avances en la búsqueda de la sostenibilidad dentro de un proceso. La manufactura esbelta y el análisis de ciclo de vida, son elementos de evaluación actuales muy bien diseñados para encontrar soluciones a problemas ambientales y económicos que se generan en la exploración del desarrollo sostenible en la manufactura de productos de aluminio, para esto se adoptan dos modelos encontrados en la literatura, un modelo ambiental y un modelo económico que son utilizados en la herramienta en Excel propuesta.

Tal herramienta está diseñada en Microsoft Excel®, la cual utiliza los datos de entrada de los procesos de manufactura de aluminio y se toman en cuenta los modelos ambiental y económico utilizados para el desarrollo del trabajo, dentro del programa se toman valores tanto para el uso de la energía eléctrica (energía no renovable) y la energía eólica (energía renovable), que permitan establecer comparaciones y llegar a conclusiones para el enfoque que se busca dar acerca de la sostenibilidad de los procesos de manufactura de aluminio.

Para validar dicha herramienta se utilizan algunos valores relacionados con respecto a los consumos, costos y emisiones. La herramienta es funcional, y su proceso de desarrollo es adecuado con lo que se propone en este trabajo.

1.Marco Teórico

1.1 Manufactura de Productos de Aluminio

El Aluminio (Al) es un elemento metálico. Se caracteriza por ser puro es blando y tener una baja resistencia mecánica. Sin embargo, se pueden formar aleaciones de aluminio que permiten aumentar su resistencia y adquirir varias propiedades útiles. Las aleaciones de aluminio son ligeras, fuertes, y de fácil formación para muchos procesos de metalistería; son fáciles de ensamblar, fundir o maquinar y aceptan gran variedad de acabados. Por sus propiedades físicas, químicas y metalúrgicas, el aluminio se ha convertido en el metal no ferroso de mayor uso. (Lenntech, 2011)

Adicionalmente, el Aluminio tiene propiedades como bajo peso, óptima conductividad eléctrica y térmica, excelente maleabilidad, alta resistencia a la corrosión, acabado superficial atractivo; estas propiedades permiten su uso en prácticamente en toda clase de diseños y aplicaciones de productos. Además bajo costo de reciclado y una dilatada vida útil. (Lenntech, 2011)

El aluminio es el metal más abundante y el tercer elemento más abundante en la corteza terrestre, después del oxígeno y el silicio. Esto representa aproximadamente el 8% en peso de la superficie sólida de la tierra y nunca se produce como elemento libre en la naturaleza (Totten y MacKenzie, 2003). Esta combinación de propiedades se ha convertido en un material ampliamente utilizado, con aplicaciones en la industria aeroespacial, la construcción arquitectónica y las industrias marinas, así como muchos usos domésticos. Actualmente el aluminio se produce a través de dos vías diferentes: la producción de aluminio primario a partir del mineral de bauxita y aluminio reciclado a partir de chatarra de procesos y productos de aluminio usados. (Totten y MacKenzie, 2003)

El aluminio, además, es un material totalmente reciclable que no pierde sus propiedades, y no sólo eso, sino que además reciclando aluminio se logra ahorrar un 95% de la

energía que se necesita para producir aluminio nuevo, partiendo del mineral bauxita. (Totten y MacKenzie, 2003)

1.1.1 Producción de Aluminio Primario

La producción de aluminio primario se presenta en la Figura 1-1 se compone de tres etapas: la minería de bauxita, producción de alúmina y electrólisis. (Klauber et a, 2011). Hay cuatro procesos diferentes identificados en la producción de alúmina. El proceso de Bayer Figura 1-2, y tres alternativas: el proceso de Sinterización, el proceso combinado/paralelo Bayer-Sinterización y el proceso basado en Nephelin. Los procesos alternativos tienen por objeto principalmente, acomodar diferentes materias primas y la mejorar de la tasa de recuperación de alúmina total, que producen 17% de alúmina del mundo.

Uno de los residuos más importantes generados durante la producción de aluminio primario es el barro rojo, cuya producción de iones varía desde 1,0 hasta 1,6 toneladas por tonelada de alúmina y se estima que más de 120 millones de toneladas de estos residuos se producen anualmente en el mundo (Klauber et a, 2011). El aluminio primario se produce enteramente a través del proceso Hall – Heroult Figura 1-3, que implica la electrólisis de alúmina disuelta en un baño de criolita fundida (Na_3AlF_6) a 960 °C. (Zheng y Soria, 2007)

Una preocupación ambiental significativa de la producción de aluminio primario es la generación de gases de efecto invernadero (GHGs), incluyendo dos perfluorocarbonos (PFCs), CF_4 y C_2F_6 , que se forman como resultado de los efectos de ánodo durante la electrólisis. Ambos PFCs tienen un potencial de calentamiento global mucho mayor que el CO_2 . Por otra parte, en la producción de aluminio primario, la electricidad, por lo tanto, las emisiones de CO_2 de la industria dependen en gran medida el principal combustible para la generación de electricidad (Zheng y Soria, 2007)

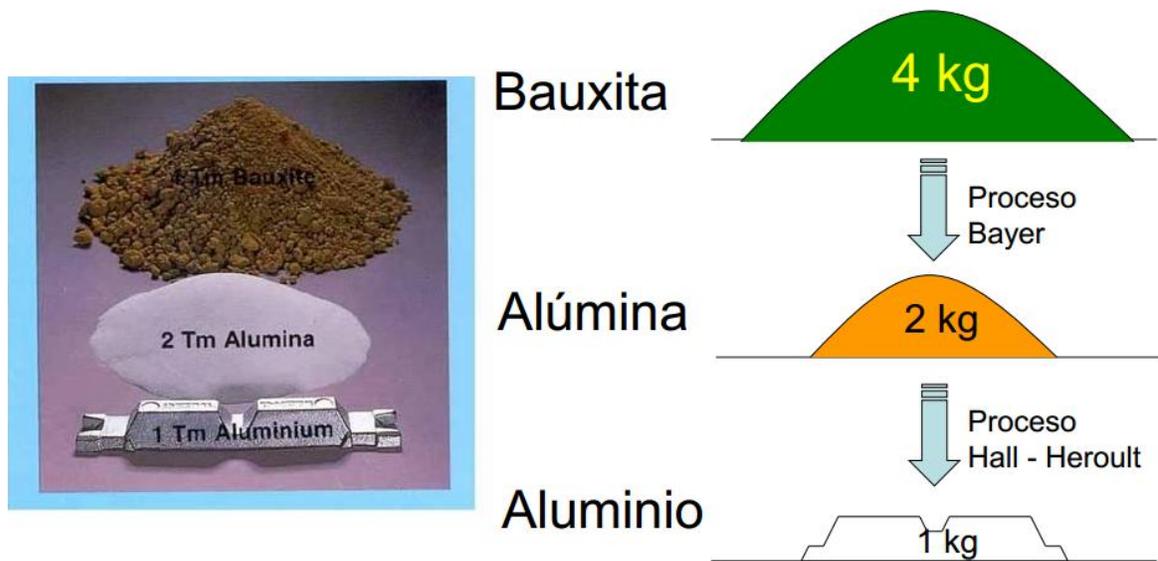


Figura 1-1: Proceso Productivo de Aluminio.

(Tomado: Terroba, Sistema de gestión Medio Ambiental Modelo de Sostenibilidad ALCOA San Ciprián, 2010)

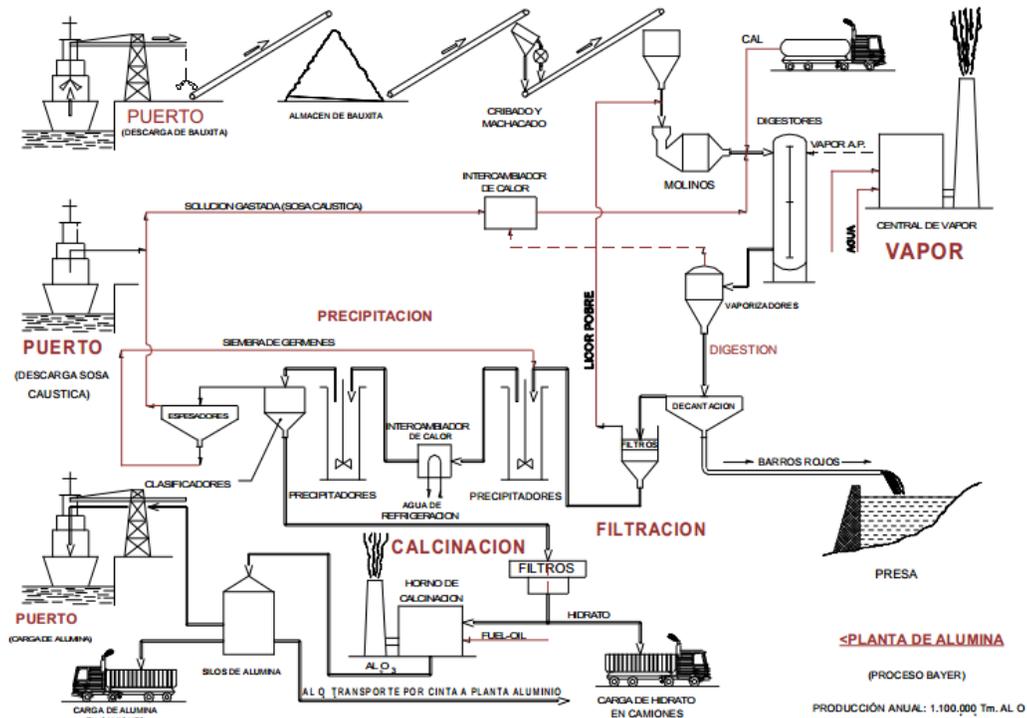


Figura 1-2: Proceso de Bayer (Alúmina).

(Tomado: Terroba, Sistema de gestión Medio Ambiental Modelo de Sostenibilidad ALCOA San Ciprián, 2010)

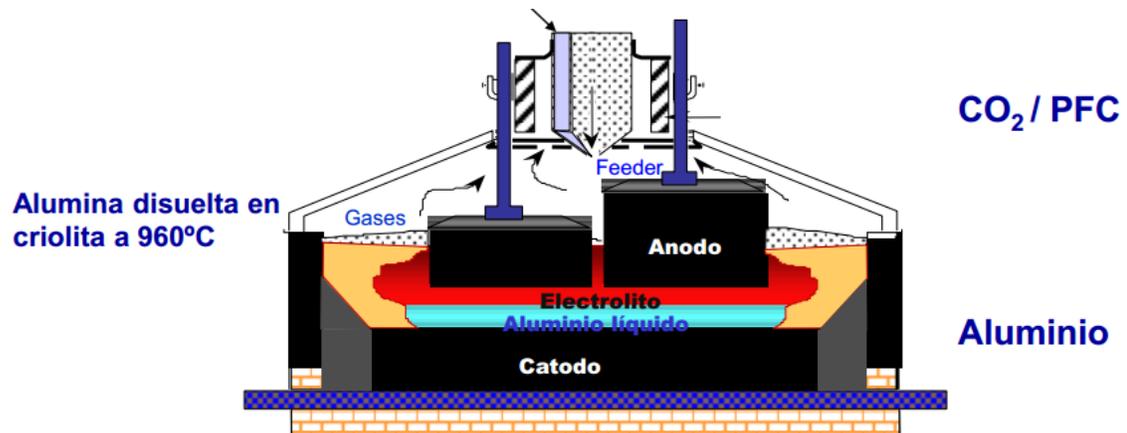


Figura 1-3: Proceso de Hall – Heroult.

(Tomado: Terroba, Sistema de gestión Medio Ambiental Modelo de Sostenibilidad ALCOA San Ciprián, 2010)

La producción primaria de aluminio es un proceso de dos pasos que refina alúmina y reduce alúmina a metal de aluminio. Se inicia con la extracción de mineral de bauxita, un óxido hidratado de aluminio que consta de 36 a 56 por ciento de alúmina (Al_2O_3) y cantidades menores de hierro, silicio y titanio.

El proceso Bayer se utiliza para refinar la bauxita en alúmina. El proceso Hall-Héroult se usa para reducir la alúmina a metal de aluminio por reducción electrolítica. La refinación (proceso de Bayer) y el proceso de reducción (Hall-Héroult) rara vez se realizan en la misma instalación. Un diagrama esquemático de la producción de aluminio primario se muestra en la Figura 1-4.

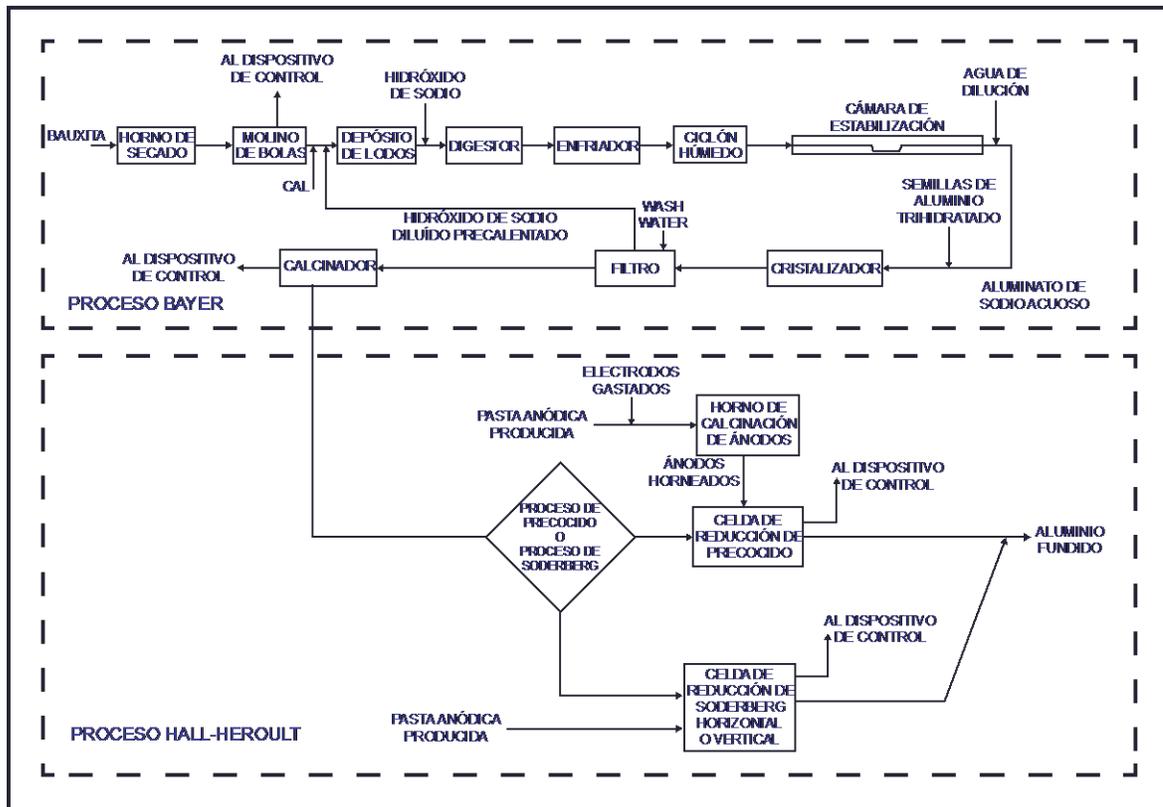


Figura 1-4: Diagrama esquemático del proceso de producción de aluminio primario.

(Tomado: Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. OAQPS / TSD / EIB Research Triangle Park, NC 27711, 1998)

1.1.2 Producción de Aluminio Secundario

El aluminio secundario también se conoce como el reciclaje de aluminio. Todos los productos de aluminio pueden ser reciclados después de su uso. El reciclaje de aluminio es extremadamente importante debido a varias razones económicas y ambientales. En comparación con la producción de aluminio primario, el reciclaje de productos de aluminio necesita tan poco como 5% de la energía y emite sólo 5% del gas de efecto invernadero. Además, se ahorran materias primas, mientras que el producto de desecho se puede reciclar en lugar de ser enviado a los vertederos (Mukhopadhyay, et al, 2005), (IAI, 2009).

En 1990 la producción total de aluminio era de alrededor de 28 millones de toneladas (con más de 8 millones de toneladas recicladas a partir de chatarra) y en 2010 el total fue cerca de 56 millones de toneladas (con cerca de 18 millones de toneladas recicladas a

partir de chatarra). Para el 2020 se proyecta que la demanda de metal ha aumentado alrededor de 97 millones de toneladas (con alrededor de 31 millones de toneladas recicladas de desechos). Hoy en día, alrededor del 50% de la chatarra es chatarra vieja (es decir, la chatarra de productos por fin de vida) (IAI, 2009). En Europa (Unión Europea - 25) más de la mitad de todo el aluminio producido en la actualidad se origina a partir de materias primas recicladas y esa tendencia va en aumento. La producción primaria de aluminio asciende en la actualidad a sólo 3 millones de toneladas, mientras que se producen 4,5 millones de toneladas de lingotes para fundición de aluminio, aluminio forjado (laminando lingotes y tochos de extrusión) y desoxidación de aluminio a partir de chatarra de aluminio (EAA, 2004).

La industria secundaria depende de las fuentes de chatarra de aluminio como materia prima. Las fuentes típicas de chatarra de aluminio son chatarra de procesos, latas de bebida usadas (UBCs), láminas, extrusiones, chatarra comercial, limaduras y metal viejo laminado o fundido. Además este aluminio recuperado de espumas y desechos/sales (Tenorio y Espinosa, 2002). La alimentación de chatarra, que es una combinación compleja de todos los tipos de chatarra de aluminio recogidos, se carga en hornos de fusión. En la industria secundaria del aluminio, se utilizan ampliamente hornos de reverbero y hornos de fusión rotativos. (Tenorio y Espinosa, 2002)

Durante la existencia del aluminio, todas las fases son importantes. Dentro de los propósitos industriales se busca que sus usos sean sostenibles, es decir, que continúen con las mismas propiedades durante años. Esto será viable, utilizando tecnologías más limpias y más seguras y reciclando todo el aluminio posible. Por esto es muy importante la recuperación de productos de aluminio usados. (Tenorio y Espinosa, 2002)

El aluminio, es un material totalmente reciclable que no pierde sus cualidades, además reciclando aluminio se logra un ahorro muy significativo de la energía que se necesita para producir aluminio nuevo, desde la obtención de la bauxita. El aluminio reciclado es nuevamente utilizado para la realización de nuevos artículos de aluminio. Las etapas que continúa el aluminio empiezan con la separación de otros materiales, el prensado y la fundición. Con el nuevo material se procede a realizar nuevos artículos y aplicaciones de aluminio. (Tenorio y Espinosa, 2002)

1.2 Sostenibilidad

La sostenibilidad es ampliamente reconocida como uno de los retos más importante en la actualidad, sobre todo en los procesos de manufactura, teniendo presente que el medio ambiente es uno de los aspectos de sostenibilidad predominante. Para vivir de una manera sostenible, se deben utilizar los recursos naturales de la Tierra a un ritmo que permita su renovación. Sin embargo, la sociedad orientada al consumo impone una presión enorme al planeta.

Frente a los crecientes retos ambientales y la escasez de recursos naturales, la progresiva conciencia de responsabilidad social y la necesidad de mantener la rentabilidad, la sostenibilidad se ha convertido en un proyecto clave para todos los procesos de manufactura. La definición más común de la sostenibilidad o desarrollo sostenible es de la Comisión Brundtland: “el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Brundtland, 1987). Si bien, esta definición refleja la filosofía de la sostenibilidad, que no proporciona instrucciones específicas o elementos de acción que las empresas puedan adoptar fácilmente. Ellos pueden interpretar de manera diferente la sostenibilidad y seguirla a través de diferentes medidas.

Prácticas de sostenibilidad son específicas de los procesos de manufactura como las diferentes industrias se enfrentan a diferentes retos. Por ejemplo, los problemas de sostenibilidad que enfrenta la industria de la electrónica son violaciones de derechos humanos laborales y el reciclaje de productos o de readmisión (Supply Chain Resource Cooperative, 2012), mientras que la industria del automóvil se centra más en el consumo de combustible y las emisiones (Maitin y Lacy, 2011). En este trabajo, se mencionara el proceso de manufactura de aluminio, que en particular tiene un fuerte énfasis en la sostenibilidad, debido a su naturaleza de negocio comercial. La industria del aluminio implica la extracción de materias primas como la bauxita (aluminio primario), y los procesos que son altamente consumidores de energía. Los diferentes sectores dentro de la industria de procesos químicos enfatizan diferentes aspectos de la sostenibilidad.

Hay muchas maneras en que las empresas pueden contribuir a la sostenibilidad. Un estudio de McKinsey muestra que las agendas de sostenibilidad de las empresas cubren

los aspectos sociales, ambientales y económicos, la triple línea de base de la sostenibilidad (Bonini, 2011). Estos incluyen la reducción de la energía y la entrada de agua en las operaciones, la reducción de emisiones y residuos, mejorando la retención y motivación de los empleados, el cumplimiento de la normativa, y reduciendo el riesgo operativo. Otras medidas incluyen forjar relaciones más fuertes con las comunidades, las ONG, los gobiernos y otras empresas del sector.

Diferentes empresas incluso dentro de un mismo sector se comprometen en diferentes medidas. Estas suelen ser destacadas en los informes de sostenibilidad que muchas empresas publican voluntariamente para describir sus objetivos de sostenibilidad, esfuerzos y logros. Estos informes se publican por lo general una vez al año, destinados a demostrar la transparencia y la rendición de cuentas, así como a la participación de los interesados y los gobiernos para atraer a los inversores. Se ha propuesto que la rendición de cuentas por los impactos de sostenibilidad puede dar lugar a estructuras y modelos que mejoren el desempeño de sostenibilidad de las empresas (Adams, 2002). Estos informes también reflejan la creciente importancia de la percepción de las partes interesadas (Modapothala, et al, 2010). La sostenibilidad también se ha relacionado con el aumento de la competitividad y los resultados económicos (Rao y Holt, 2005).

La sostenibilidad integra factores económicos, sociales, culturales, políticos y ecológicos. Exige tener en cuenta los aspectos locales y globales y la forma en que se relacionan recíprocamente. Relación entre los elementos de un sistema, asimismo, las relaciones entre los elementos se pueden manifestar de maneras muy diferentes (transacciones económicas, flujos de materia o energía, vínculos causales, señales de control entre otros. Todos los sistemas que tiene existencia material son abiertos y mantiene intercambio de energía, materia e información con su ambiente que son importantes para su funcionamiento. En consecuencia, el comportamiento de un sistema, “lo que hace”, no solo depende del sistema mismo sino también de los factores, elementos o variables provenientes del ambiente del sistema y que ejercen influencia en él (las “variables de entrada” o insumos); por otra parte, el sistema genera variable que influyen en el entorno (las “variable de salida” o productos). (Bonini, 2011)

A veces, lo que interesa es la sostenibilidad del sistema como tal, en este caso las variables de salida son iguales a las variables de estado. La sostenibilidad es algo más

que una agregación de los temas importantes, es también acerca de sus interrelaciones y las dinámicas desarrolladas en un sistema. Un sistema es Sostenible cuando el valor neto del producto obtenido (no necesariamente en términos económicos) no disminuye en el tiempo. (Bonini, 2011)

1.2.1 Desarrollo Sostenible (Sustainable Development)

El concepto de desarrollo sostenible ha gozado de amplia cobertura en la literatura y en los debates en diversos niveles (Assefa y Frostell, 2007). El Informe Brundtland, *Nuestro Futuro Común* (World Commission on Environment and Development, 1987) y (Goldemberg et al, 1988), *Energía para el mundo sostenible*, se toman como punto de partida en este estudio.

La definición más utilizada de desarrollo sostenible se refiere a las tres dimensiones de la sostenibilidad: ecológica, económica, y sistemas sociales. El concepto de sostenibilidad se deriva de un cambio de perspectiva, desde un enfoque de desarrollo económico que se define a menudo como la expansión del consumo y el GDP a una nueva visión de desarrollo denominado desarrollo sostenible (Harris y Goodwin, 2001).

El Informe Brundtland define el desarrollo sostenible como el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (World Commission on Environment and Development, 1987). Conforme a Mebratu, 1998, esta definición contiene dos conceptos claves: (i) el concepto de "necesidades" en particular las necesidades esenciales de los pobres del mundo, que requiere una prioridad de suma importancia, y (ii) la idea de limitaciones impuestas por el estado de la tecnología y la organización social sobre la capacidad del medio ambiente para satisfacer las necesidades presentes y futuras.

Desde que se introdujo, a fines de los años setenta, el concepto de desarrollo sostenible ha sugerido la posibilidad de una síntesis entre desarrollo económico y preservación del medio ambiente (Bergh y Joroen, 1996). Otros estudios han argumentado que el desarrollo sostenible no es ni una condición fija ni un estado sustentable final, pero es inherentemente un proceso dinámico (Mog, 2004). Kemmler y Spreng, 2007, ilustra este

punto con el argumento de que las generaciones futuras, con un mayor conocimiento y una tecnología sofisticada y necesidades diferentes, definirán el desarrollo sostenible en su propia manera y con un conjunto diferente de los objetivos de desarrollo. Además, Meadows, 1998, reconoce el desarrollo sostenible como dependiente de las visiones del mundo y valores de una sociedad.

A pesar de los debates y discusiones en torno al concepto de desarrollo sostenible, un concepto prioritario es el mantenimiento de toda la sociedad y no de forma explícita el medio ambiente y la economía (Gaziulusoy et al, 2008). Sin embargo, las interdependencias jerárquicas irreversibles muestran en la Figura 1-5, prescribir el medio ambiente como la prioridad operativa. Esto se debe tanto a que la sociedad y la economía dependen del medio ambiente como el proveedor de los recursos necesarios. El marco de tiempo para su uso en la planificación para el desarrollo sostenible también se debate en la literatura. Sin embargo, de acuerdo con la prioridad operativa, el concepto de desarrollo sostenible requiere intrínsecamente una orientación hacia el futuro a largo plazo.

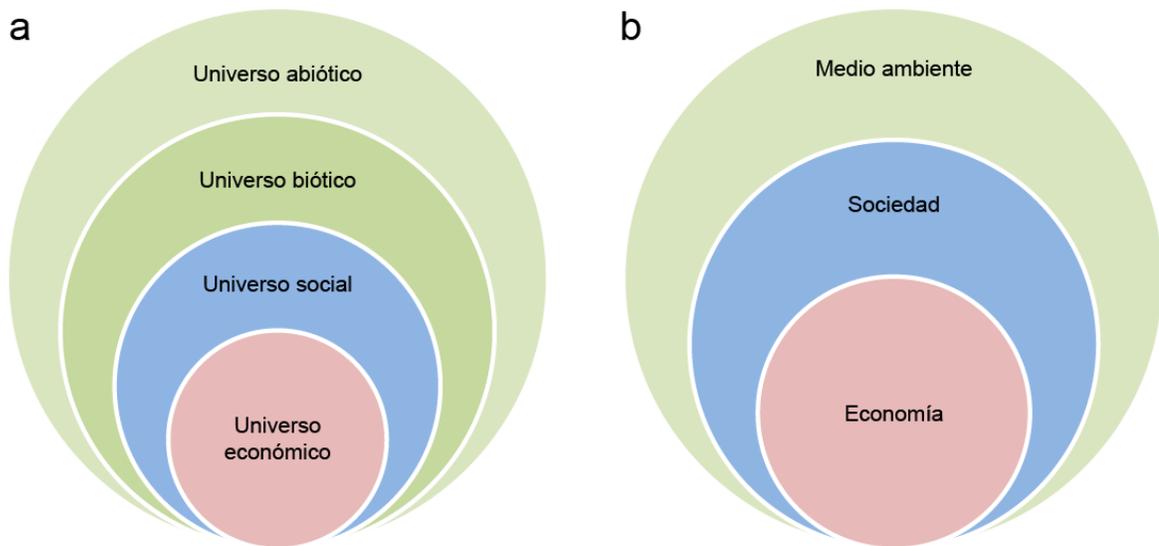


Figura 1-5: (a) La interdependencia cósmica; (b) la prioridad operativa del modelo de desarrollo sostenible.

(Tomado: adaptado de Mebratu: Sostenibilidad y desarrollo sostenible: Reseña histórica y conceptual. Revisión de Evaluación de Impacto Ambiental, 1998, 18, 493-520.)

En este trabajo se enunciará el Desarrollo Sostenible desde los puntos de vista Medio Ambiente y Económico, el aspecto Social se deja para un trabajo posterior.

- Aspecto Ambiental (Emisiones)

El Impacto Ambiental se define como el efecto que produce una actividad (acción favorable o desfavorable) en el medio, es decir, la alteración positiva o negativa en la calidad de vida del ser humano y de su entorno. Desde siempre el hombre ha estado íntimamente ligado al medio ambiente, ya que es la fuente de recursos que proporciona al ser humano de materias primas que necesita para su progreso; sin embargo, las acciones de este afectan enormemente a multitud de ecosistemas modificando con esto la evolución natural de la Tierra. El planeta está atravesando una crisis única en su historia y de una manera insostenible, el problema del calentamiento global debido al efecto invernadero. (EPA, 2005)

Los procesos de manufactura y el consumo contribuyen a muchos de los problemas actuales del medio ambiente, como el calentamiento global, la contaminación, el agotamiento de los recursos naturales y la pérdida de biodiversidad entre otros.

- La Contaminación Atmosférica

La contaminación del aire ha sido un problema de salud pública desde el descubrimiento del fuego, debido a los humos producidos en el proceso de combustión. Inicialmente el problema se presentó en espacios cerrados o con ventilación deficiente, pero posteriormente llegó a afectar la calidad de aire en los asentamientos urbanos. Séneca en el año 61 a.C. escribió sobre el "aire cargado de Roma" y en el siglo XI se llegó a prohibir la quema de carbón en Londres.

Los problemas modernos de contaminación del aire se remontan al siglo XVIII en Inglaterra con el nacimiento de la revolución industrial debido el uso de combustibles fósiles para la producción de energía. A fines del siglo XIX e inicios del siglo XX, el humo y las cenizas llegaron a ser el principal problema de contaminación urbana, situación que empeoró con el creciente uso del automóvil. Desde mediados del siglo XX en ciudades como Londres y más tarde Los Ángeles, en los Estados Unidos, se presentaron episodios importantes de salud pública a causa de la contaminación del aire.

A raíz de una conferencia sobre contaminación del aire realizada en Milán en 1957, en donde se trataron los aspectos de salud pública relacionados con la contaminación del aire en Europa, la Organización Mundial de la Salud (OMS) se empezó a preocupar por este tema, especialmente por sus efectos nocivos sobre la salud. La OMS revela que hoy en día, en el mundo más de 3,1 millones de personas mueren cada año por causas directamente atribuibles a la contaminación del aire, equivalente al 5,3% de las muertes totales. El 40% de estas muertes se deben a la contaminación ambiental urbana y el resto a la contaminación del aire en espacios cerrados (WHO, 2009).

Las primeras legislaciones para regular las emisiones contaminantes las promulgó Estados Unidos en la década de los sesenta, setenta y noventa, después fue seguido por algunos países europeos, Japón y finalmente la Unión Europea en conjunto.

Actualmente, en Europa los techos nacionales de emisión (NEC) de determinados contaminantes atmosféricos son regulados por la Directiva 2001/81/EC (NECD) y la calidad de aire ambiente por medio de la Directiva 2008/50/EC, que entró en vigor en junio de 2008. Estas normativas tienen como objetivo limitar las emisiones de contaminantes para reforzar la protección del medio ambiente y de la salud humana así como avanzar hacia el objetivo de no superar los niveles críticos de contaminantes y de proteger de forma eficaz a toda la población frente a los riesgos para la salud que se derivan de la contaminación atmosférica.

- El Cambio Climático

Por su parte, el problema del cambio climático causado por los Gases de Efecto Invernadero (GEI) fue descubierto por el científico Sueco Svante Arrhenius (1859- 1927) en 1896. Descubrió que debido a la capacidad de absorción de la radiación infrarroja del vapor de agua y del dióxido de carbono, los combustibles fósiles podrían dar lugar o acelerar el calentamiento de la tierra. Arrhenius llegó a establecer una relación entre la concentración de dióxido de carbono atmosférico y la temperatura.

Este descubrimiento no tuvo relevancia hasta los años ochenta, en donde se observó un aumento significativo en la curva de temperatura media anual global, como se observa en la Figura 1-6.

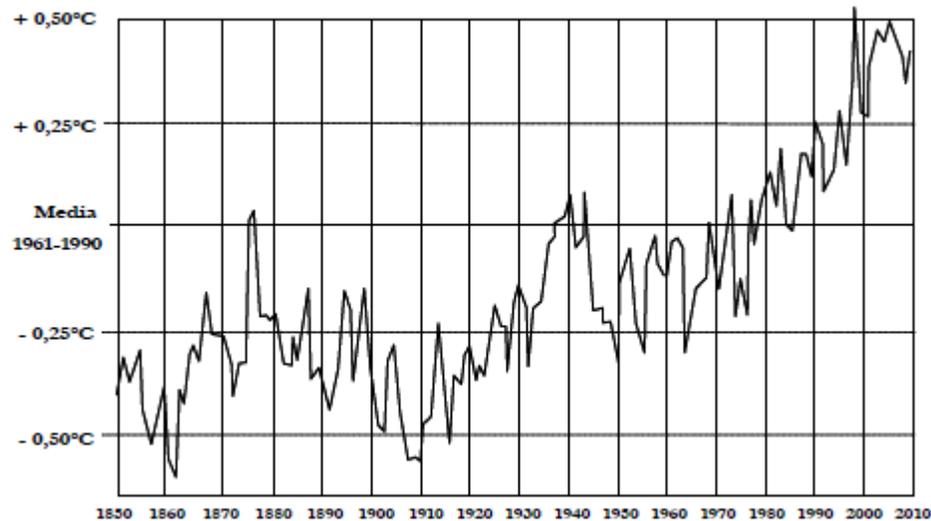


Figura 1-6: Evolución de la temperatura de la tierra 1850-2010. (Tomado: Payri et al, 2011)

En 1988 se reconoció la teoría del efecto invernadero y se estableció el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change- IPCC) por parte del Programa Medioambiental de las Naciones Unidas (United Nations Environment Programme -UNEP) y la Organización Meteorológica Mundial (World Meteorological Organization- WMO) con el objetivo de proveer al mundo con una clara visión científica sobre el estado actual del cambio climático y sus posibles consecuencias ambientales y socio económicas (Maslin, 2004).

Hoy en día se conoce que la quema de petróleo, carbón y gas natural ha causado un aumento del CO₂ en la atmósfera que últimamente es de 1,4 ppm al año y produce el consiguiente aumento de la temperatura. Se estima que desde que el hombre mide la temperatura hace unos 150 años (siempre dentro de la época industrial) ésta ha aumentado 0,5 °C y se prevé un aumento de 1 °C en el 2020 y de 2 °C en el 2050. Adicionalmente, se estima que más de 140 mil personas mueren al año por causas del cambio climático (WHO, 2009).

En 1998 se promulgó el protocolo de Kioto sobre el cambio climático cuyo objetivo fue reducir las emisiones de los principales gases de efecto invernadero en el periodo comprendido entre los años 2008 y 2012. Para el caso del CO₂ el objetivo planteado fue reducir su emisión en un 8%. La XV Conferencia Internacional sobre el Cambio Climático que se celebró en Copenhague, Dinamarca, en diciembre de 2009, cuyo objetivo era la conclusión de un acuerdo jurídicamente vinculante sobre el clima, válido en todo el mundo y de aplicación a partir de 2012, no alcanzó a tener carácter oficial, debido a no haber obtenido un acuerdo unánime. De todas formas, en Europa se llegó a un acuerdo para reducir las emisiones de CO₂ de los vehículos ligeros, limitando las emisiones de CO₂ a 130 g/km, con aplicación progresiva desde 2012 hasta 2015 (Regulation (EC) No. 443/2009).

Además del dióxido de carbono (CO₂), existen otros gases de efecto invernadero responsables del calentamiento global, tales como el gas metano (CH₄) óxido nitroso (N₂O), Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF₆), los cuales están contemplados en el Protocolo de Kioto y en las normativas ambientales de carácter local.

Los GEI pueden ser divididos en tres categorías: 1) los radiactivamente activos, tales como el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO₂), el ozono (O₃), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O) y los clorofluorocarbonos (CFC), que ejercen un efecto climático directo; 2) los química/fotoquímicamente activos, tales como el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NO_x) y el dióxido de azufre (SO₂), que ejercen efectos climáticos indirectos a través de reacciones químicas que determinan la concentración en la atmósfera de radicales hidroxilo (OH), CH₄ y O₃ las emisiones de aerosoles atmosféricas (PRIEN, 2000).

Cada GEI tiene una influencia térmica (forzamiento radiactivo) distinta sobre el sistema climático mundial por sus diferentes propiedades radiactivas y períodos de permanencia en la atmósfera. En la literatura científica, tales influencias se homogenizan en una métrica común definida como el cambio en el flujo de energía en la propopausa (zona de transición entre la troposfera y la estratosfera), en W m⁻². Los gases con mayor forzamiento radiactivo positivo (influencia térmica de calentamiento) son el dióxido de

carbono [CO₂], el óxido nitroso [N₂O], metano [CH₄] y los cloro-fluoro-carbonos, que en total equivalen a un valor de forzamiento radiactivo de 2,4 W m⁻² en el año 2000.

También hay GEI que tienen un forzamiento radiactivo negativo o influencia térmica de enfriamiento como ciertos compuestos de azufre y el ozono estratosférico, pero aún estos efectos no están estudiados científicamente en profundidad. (CRFEC, 2005).

- Energía Eléctrica

Una de las formas de energía, es la energía eléctrica, para su generación se utilizan principalmente combustibles fósiles. Según la *International Energy Agency*, 2002: “En 1999, el 63.7% de la electricidad se produjo en centrales térmicas (con combustión de derivados del petróleo, gas natural y carbón), el 17.2% en centrales nucleares, 17.5% en hidroeléctricas y 1.6% mediante otras fuentes de energía (IEA, 2001). En ese mismo año, el principal energético utilizado para la generación eléctrica fue el carbón con 38.1%, seguido del gas natural con 17.1% y los derivados del petróleo con 8.5%. Se espera que en año 2020 la participación del gas natural se incremente a escala mundial en un 26.5% y que la participación del carbón y de la energía nuclear se reduzca en un 31.7% y 12.2%, respectivamente. Por su parte, las energías renovables representarán el 20% de la producción de la energía eléctrica” (IEA, 2002).

En consecuencia, los agentes negativos más relevantes que produce el uso de combustibles fósiles se ve representado en las emisiones contaminantes locales y de gases de efecto invernadero, siendo la mayor el dióxido de carbono (CO₂). Otros de los contaminantes emitidos son: óxidos de nitrógeno (NO_x), el dióxido de azufre (SO₂), el monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos no quemados (HC) y las partículas suspendidas. Algunos de ellos en mayor proporción y con efectos nocivos más relevantes.

Para tener en cuenta los inconvenientes causados por estos contaminantes, es necesario saber que la concentración de NO_x depende de la composición del combustible y de la temperatura de combustión. La producción de CO e hidrocarburos no quemados depende de la eficiencia del proceso de combustión. En presencia de radiación ultravioleta los NO_x reaccionan con los hidrocarburos no quemados produciendo smog fotoquímico. La producción de NO_x tiene dos efectos. El primero de ellos es la oxidación

del nitrógeno contenido en el aire comburente (NO_x térmico) y el segundo, la reacción del nitrógeno contenido en la composición del combustible (NO_x del combustible).

Después de visualizar los anteriores efectos, se puede señalar otra dificultad relacionada con la generación de electricidad que es la formación de la lluvia ácida. Los principales compuestos relacionados con la formación de lluvia ácida son el SO_2 y los NO_x . Estos compuestos reaccionan en las nubes formando una mezcla de ácido sulfúrico (H_2SO_4) y ácido nítrico (HNO_3), los cuales caen a la tierra acompañando a las precipitaciones constituyendo la lluvia ácida. También se deposita acidez en la superficie en forma de partículas secas que en contacto con la lluvia originan un medio corrosivo.

En resumen, Algunas de las categorías de impacto son:

- Calentamiento Global
- Disminución de la Capa de Ozono
- Acidificación
- La Eutrofización
- Sustancias carcinógenas
- Niebla de invierno
- Niebla de verano
- Residuos Industriales
- Radiactividad
- Residuos radiactivos
- Agotamiento de recursos energéticos

Un factor decisivo en la evolución de las tecnologías de generación eléctrica en el mediano y largo plazo son los problemas locales, regionales y globales derivados de las emisiones de gases de efecto invernadero en el calentamiento global y sus efectos inherentes. Para mayor información sobre el tema se puede consultar el Tercer Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2007).

- Energía Eólica (Energía Renovable)

Para definir adecuadamente el concepto de Energía Eólica, se utiliza la descripción realizada por *Danish Wind Industry Association*, 2012: “La Energía Eólica se origina del movimiento de las masas de aire, es decir, el viento. Al igual que la mayoría de las fuentes de energía renovables, proviene del sol, ya que son las diferencias de temperaturas entre las distintas zonas geográficas de la tierra las que producen la circulación de aire.

Desde el punto de vista de la energía eólica, la característica más importante del viento es su variabilidad, tanto desde el punto de vista geográfico como temporal. A gran escala la variabilidad espacial describe el hecho de que en el mundo existen diferentes zonas climáticas, algunas con mayor disponibilidad de recursos que en otras, determinadas fundamentalmente por su latitud. Dentro de una región específica, existen variaciones en menor escala, dictadas fundamentalmente por las condiciones geográficas (cercanía al mar, extensión del terreno, presencia de montañas, etc). El tipo de vegetación también es un factor determinante. Las características topográficas, sin duda, afectan la cantidad de viento en una escala más local. Para una zona determinada, la variación temporal de largo plazo significa que la intensidad del viento puede variar en una escala de años o décadas. En la actualidad, este tipo de variaciones no es bien entendido, por lo que es difícil predecir con gran precisión el desempeño económico a largo plazo de parques eólicos”. (Windpower, 2012)

Las máquinas eólicas encargadas de este fin se llaman aerogeneradores, aeroturbinas o turbinas eólicas. En definitiva, los aerogeneradores transforman la energía mecánica del viento en energía eléctrica.

- Aspecto Económico

Para indicar uno de los ítems más importantes en este trabajo, se hace referencia al aspecto económico, que tiene lugar en el crecimiento económico y el desarrollo de nuevas tecnologías, que han aportado a la sociedad comodidad en su vida diaria, lo que ha llevado a una gran demanda de productos y servicios, y a su vez, a una demanda creciente de energía y de recursos, aumentando significativamente los niveles básicos de emisiones.

El uso eficiente de los recursos y de la energía constituye la base de la futura competitividad.

La manufactura sostenible potencia al máximo la capacidad de las empresas para transformar los retos medioambientales en oportunidades económicas, además de ofrecer mejores condiciones a los consumidores.

- Interpretaciones Económicas del Desarrollo Sostenible

Ampliando los conceptos anteriores y dando con ello un enfoque de sostenibilidad al proceso de investigación, se toma en cuenta la definición de *Thurow*, 1980: “En otro extremo del espectro se encuentran enfoques sesgados hacia el crecimiento económico a ultranza, visto como sine-qua-non del desarrollo. Se argumenta que el crecimiento cero lleva inevitablemente al desempleo y a mayor desigualdad, amenazando, por último, la seguridad y la paz. Esta inquietud ha sido sintetizada en la siguiente afirmación: “la preocupación por el agotamiento de los recursos naturales es difícil de ser racionalizada desde un punto de vista económico”. (*Thurow*, 1980).

Estableciendo la continuidad en las nociones, *Thurow*, 1980, afirma que: “Un enfoque que tiene muchos adeptos define el desarrollo sostenible como una forma de desarrollo que gestiona todos los recursos con el fin de incrementar el bienestar y la riqueza: los recursos naturales, humanos, financieros y físicos.

Para la comprensión de la dimensión económica el concepto ha sido explicitado en diversas definiciones; clara alusión al crecimiento económico aparece en la siguiente: «el mantenimiento o crecimiento del per cápita». Un énfasis similar se encuentra en otra definición: «desarrollo sostenible sería la manutención de la per cápita por su clara referencia a la equidad intergeneracional». La idea de inversión en la creación de reservas de capital renovable que se debe compensar por el agotamiento de recursos está presente en otros enfoques: «una sociedad que invierte en capital reproductivo las rentas competitivas de la extracción actual de recursos perecibles, gozará de un flujo de consumo constante en el tiempo; este resultado puede ser interpretado como un mantenimiento intacto de una reserva definida de capital; por consiguiente el consumo puede ser interpretado como un interés a ese patrimonio». La vinculación con la inversión y el consumo quedan establecidos, pero ello implica que la economía tiene capacidad

para crear excedentes. Nótese que este enfoque se apoya en el supuesto de perfecta sustituibilidad entre el capital natural y el construido por el hombre”. Supone asimismo un cambio tecnológico continuo. (a) Haveman, 1989, b) Pezzey, 1989, c) Repetto, 1985).

La fe de muchos economistas en las posibilidades del cambio tecnológico para crear sustitutos y así ir sustituyendo el capital natural por el capital hecho por el hombre (man made capital) está perfectamente explicitada en el siguiente párrafo, tomado de *Schuh*, 1987:

“[...] economic development, rather than creating economic scarcity, in its general force tends to create economic abundance. The reason is obvious... the engine of economic growth does not lie in physical and natural resources... but in science and technology... that is knowledge.” (Schuh, 1987).

Según la *Organization for Economic Cooperation and Development*, 1989: “La Declaración de La Cumbre de los G7 en Arch de 1989 señala que: «a fin de lograr un desarrollo sostenible debemos asegurar la compatibilidad del crecimiento económico y el desarrollo con la protección del medio ambiente». A su vez el Nivel Ministerial del Consejo de la OECD propugna la «elaboración de un concepto de desarrollo sostenible en términos económicos»”. (OECD, 1989).

Para las *Naciones Unidas*, 1990: “La Declaración sobre la Cooperación Económica Internacional adoptada por las Naciones Unidas solicita: «un fuerte compromiso de los países miembros con la revitalización del crecimiento económico y el desarrollo de los países en desarrollo, de modo que se cumpla el derecho básico de todos los seres humanos a vivir libres de hambre, pobreza, ignorancia, enfermedad y temor». Esta declaración merece dos comentarios. Uno es la distinción que hace entre crecimiento económico y desarrollo. El primero es visto como medio para lograr los «derechos básicos» que se mencionan a continuación y que son dimensiones del desarrollo. En segundo término, si bien la declaración se refiere a los países en desarrollo, es sabido que su crecimiento económico está estrechamente ligado al de los desarrollados, de tal manera que el llamado de la declaración es también a la revitalización del crecimiento de estos últimos”. (Naciones Unidas, 1990).

Igual predicamento adopta el Banco Mundial en su informe de 1991, *World Bank*, al afirmar “que el crecimiento económico global estará fuertemente influenciado por el desempeño de los países desarrollados, acotando que un porcentaje de punto en el crecimiento de los países de la OECD puede inducir un crecimiento de largo plazo en los países en desarrollo del 0.7%. El informe recomienda que los países industrializados y las agencias internacionales promuevan el crecimiento sostenible”. (World Bank; 1990, 1991, 1992).

Como dice *MacNeill*, 1989 “El crecimiento económico es elemento crucial del concepto sistematizado por la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo o informe Brundland, al afirmar que sin mejora de la situación económica el ambiente natural enfrenta serios riesgos de deterioro. El informe estimaba que la transición hacia el desarrollo sostenible en la primera parte del próximo siglo requeriría un crecimiento económico mínimo del 3% anual promedio en los países en desarrollo. El Secretario General de la Comisión señalaba que: «el más urgente imperativo para las próximas décadas es acelerar el crecimiento económico. Se requeriría un incremento de la actividad económica de cinco a diez veces durante los próximos 50 años a fin de satisfacer las necesidades y aspiraciones de la creciente población mundial y reducir la pobreza. Si la pobreza no se reduce significativamente y pronto, no será posible detener la acelerada disminución del inventario de capital básico del planeta»”. (MacNeill, 1989).

El crecimiento económico que permite el aumento por factores productivos en un determinado período, demuestra ser de total importancia dentro de un análisis en la industria, sobre todo en los procesos de manufactura de aluminio y en la búsqueda del desarrollo sostenible como eje central de este trabajo.

1.2.2 Manufactura Sostenible

- Procesos de Manufactura

La manufactura se establece como un conjunto de actividades organizadas y programadas para la transformación de materiales, objetos o servicios en artículos o servicios útiles para la sociedad, por tanto los procesos de manufactura comprenden un

espacio, una serie de máquinas o centros de trabajo, que en unidos, dan como resultado un servicio o un producto terminado.

Para manufacturar una pieza existen diferentes procesos o métodos por los cuales se obtiene el producto deseado, estos procesos se pueden clasificar de diferentes maneras, aunque todos los procesos de producción tienen variables en común como lo son: materiales, costos, tiempo de fabricación, maquinaria, cantidades, entre otras; cada proceso de manufactura tiene una forma diferente de procesar el material para obtener un producto final, y por ende es difícil estandarizar criterios generales para todos.

Para *Kalpakjian y Schmid, 2008*: la elección de un proceso de manufactura queda condicionado por varios aspectos (Kalpakjian y Schmid, 2008):

- “Las características y propiedades del material de la pieza.
- La forma, tamaño y espesor de la parte.
- Los requerimientos en la tolerancia dimensional y de acabado superficial.
- Los requerimientos de funcionamiento de la pieza.
- El volumen (cantidad) de producción.
- El nivel de automatización requerido para cumplir con el volumen y la rapidez de producción.
- Los costos incurridos en aspectos individuales y combinados de la operación de manufactura.

También es importante tener en cuenta aspectos como la maquinaria que se va a utilizar, que tan compleja es la forma de la pieza y el impacto ambiental que puede generar escoger uno u otro proceso de manufactura”. (Kalpakjian y Schmid, 2008)

Todos los materiales que se encuentran en la industria son diferentes entre sí, algunos son fáciles de trabajar por ser suaves y dúctiles, otros porque son duros, frágiles y abrasivos, por lo cual, cada uno requiere técnicas especiales de procesamiento. Continuando con la descripción del proceso de producción se adopta la clasificación establecida por *Kalpakjian y Schmid, 2008*: de la siguiente manera:

-
- “Fundición: molde desechable y molde permanente.
 - Formado y conformado: Laminación, forja, extrusión, estirado, formado de lámina, metalurgia de polvos y moldeo.
 - Maquinado: en los que se encuentran el torneado, taladrado, barrenado, fresado, cepillado, brochado y esmerilado.
 - Unión o soldadura: soldadura sin aporte, soldadura con aporte, soldadura blanda, unión por difusión, unión adhesiva y unión mecánica.
 - Acabado superficial: en esta clasificación se encuentran los siguientes métodos; asentado, lapeado, pulido, bruñido, desbarbado, tratamiento superficial y recubrimiento.” (Kalpakjian y Schmid, 2008)

De otra manera *Callister*, 2000: clasifica los procesos de producción de la siguiente forma:

- Operaciones primarias: son aquellas operaciones que convierten la materia prima en una parte reconocible, entre las cuales se encuentran: fundición, conformación de plástico, metalurgia de polvos y moldeo.
- Operaciones secundarias: son empleados posteriormente para completar la pieza terminada, entre las cuales están: tratamientos térmicos, soldadura, amolado, taladrado, pintura y decoración. (Callister, 2000)

Por lo general los procesos de manufactura se clasifican dependiendo de qué material se quiera trabajar, partiendo de esto solo se definirán los procesos de producción concernientes a este trabajo, descrito como tal en el Capítulo 1.

Procesos de manufactura para metales, tales como: de forja y de moldeo, las materias primas se mezclan y se funden, proporcionando una forma bruta de colada, luego de esto, la pieza de fundición se somete a deformación hasta obtener la forma final del producto, teniendo en cuenta las especificaciones en las aplicaciones.

Según *Kalpakjian y Schmid*, 2008: “En el proceso de forja se encuentran las siguientes técnicas: laminación, extrusión, Conformado, Estampado, Fraguado, Estirado, Uniones, Soldadura, Soldadura fuerte, Soldadura blanda, Pulvimetalurgia, Compresión isostática en caliente, Conformado superplástico, Solidificación rápida. En el proceso de moldeo se encuentran técnicas como: moldeo en arena, moldeo en coquilla, moldeo a la cera pérdida o el moldeo a presión”. (Kalpakjian y Schmid, 2008)

- Procesos de Manufactura Sostenible

La calidad de vida, la prosperidad y el crecimiento económico dependen de vivir dentro de los límites que marcan la disponibilidad de los recursos. Para ello hay que cambiar la forma de diseñar, fabricar, usar y desechar los productos.

La manufactura sostenible se centra en la reducción del impacto medioambiental de los procesos de manufactura y en el diseño de productos mejores. El concepto de la Manufactura Sostenible se mencionó dentro del Departamento de Comercio de los Estado Unidos en Octubre de 2009, En este caso, al igual que el desarrollo naciente de otros campos, los esfuerzos se centraron en llevar a cabo una certera y adecuada definición del concepto de sostenibilidad en la manufactura, La cual se definió como :

“La creación de productos manufacturados que utilizan procesos que minimizan los impactos ambientales negativos, conservan energía y recursos naturales, son seguros para los empleados, las comunidades, los consumidores y son económicamente sólidos”.

Mientras que NACFAM, 2010, define la Manufactura Sostenible como:

“La Manufactura Sostenible incluye la fabricación sostenible de productos y la fabricación sostenible de todos los productos. El primer término incluye la fabricación de energía renovable, eficiencia energética, la construcción ecológica, y otros verdes y productos relacionados con la equidad social”.

Esta definición se unifica de los conceptos de que la define como "La creación de productos manufacturados que utilizan procesos que minimizan los impactos ambientales negativos, conservan energía y recursos naturales, son seguros para los empleados, las comunidades, los consumidores y son económicamente sólidos.

Tal como puede verse, el concepto de manufactura sostenible lleva implícito, la reducción del impacto ambiental causado por los procesos de fabricación, almacenamiento y transporte de productos.

Se compone de tres aspectos: Ambiental, Económico y Social, descritos anteriormente los dos primeros, dejando como trabajo futuro el análisis del tercer aspecto.

1.3 Manufactura Sostenible

En este aparte se describen dos metodologías (Manufactura Esbelta y LCA aplicable a procesos de manufactura de aluminio), como guía para desarrollar el reporte de sostenibilidad. Se describen algunos beneficios y propósitos. Finalmente, como parte fundamental de la sostenibilidad, se presenta la descripción de los indicadores de Sostenibilidad que miden los aspectos ambientales y económicos realizados en este trabajo.

1.3.1 Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing)

La Manufactura Esbelta es una estrategia que busca agregar valor a los productos o servicios de una empresa en cada parte del proceso, al menor costo, con la máxima calidad y de forma rápida y confiable.

La Manufactura Esbelta es una cultura donde día a día la gente de la gerencia, ingeniería, calidad, laboratorio, supervisores, líderes y operadores están involucrados y hacen de su comportamiento un hábito para la mejora continua y la solución de problemas. La Manufactura Esbelta significa más dependencia en la gente, porque la gente es la que hace que el sistema viva: trabajando, comunicando, resolviendo problemas y creciendo juntos. (Liker, 2004). Es cierto que existe una serie de metodologías y pasos que pueden ser guía para implantar un sistema de producción de Manufactura Esbelta, pero es importante que se entienda el compromiso y el reto que se tiene, desde la gerencia hasta el área de producción, para cambiar la cultura actual por la cultura de servicio hacia lo que agrega valor, sean personas, actividades o atributos del producto.

Uno de los principios básicos del mercado entendidos por Toyota (empresa pionera de la Manufactura Esbelta entre 1949 y 1975) en el tiempo en que se desarrolló su sistema de

producción fue que el cliente es el que fija el precio de venta, no el que vende. (Shingo, 1981). Entonces se asumió la siguiente reflexión “Incrementar el valor para el cliente y reducir el costo, en lugar de incrementar el precio de venta”. En donde la meta es reducir los costos para mantener la utilidad y la preferencia del cliente.

Explicado de otra manera, así compara el pensamiento tradicional con el pensamiento del Sistema de Producción de Toyota (TPS), en donde de las tres variables de la ecuación, Toyota escogió reducir el costo en lugar de incrementar el precio de venta, para mantener la utilidad. Este es el principio de reducción de costo.

Esquema Tradicional	Pensamiento del TPS
$\text{Precio de Venta} = \text{Costo} + \text{Utilidad}$	$\text{Utilidad} = \text{Precio de Venta} + \text{Costo}$

Por lo cual, el paso primario de la Manufactura Esbelta debe ser la identificación de las oportunidades para reducir costos. Esta última frase puede ser engañosa y de hecho ha sido la causa de gran confusión para entender el Sistema de Producción Toyota, la verdadera oportunidad de reducir costos no hay ni siquiera que inventarla, solamente estudiarla y encontrarla. Es la identificación de todo tipo de desperdicio y su eliminación. La Figura 1-7, en donde se muestra el desperdicio en una cadena de valor de una línea de ensamble que inicia con la fundición.

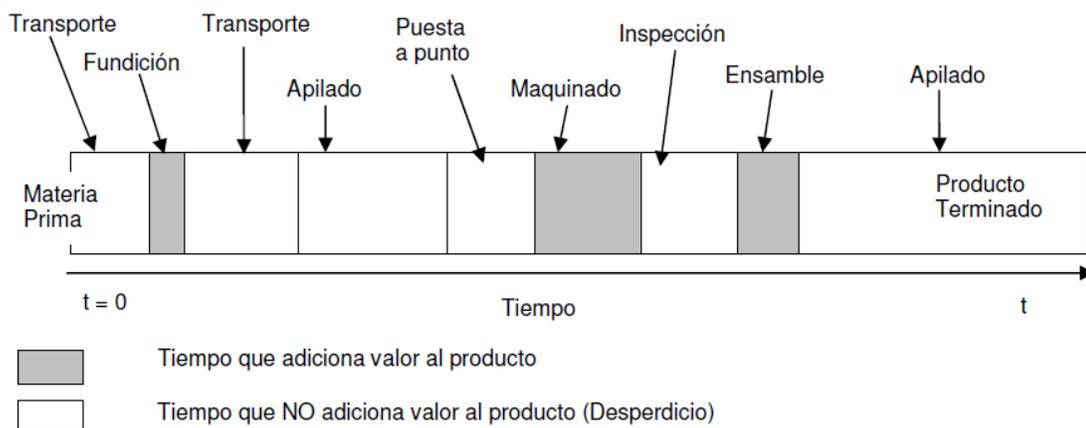


Figura 1-7: Cadena de valor. Muestra la producción entre operaciones con y sin valor.

(Tomado: Liker J. The Toyota Way. McGraw-Hill, 2004.)

Si se observa la Figura 1-7, el tiempo que adiciona valor solo es una pequeña porción del tiempo total. En promedio se habla del 5% del tiempo total. (Liker, 2004)

Tradicionalmente, lo que se ha hecho, a lo largo de muchos años, es tratar de optimizar operaciones con valor agregado para obtener ahorros, o de automatizar algunas operaciones con valor agregado para obtener ahorros, o de automatizar algunas operaciones que ahora se pueden identificar como desperdicio y no justifican la inversión.

El pensamiento de la Manufactura Esbelta se enfoca en la cadena de valor para eliminar las partes que no agregan valor. Volviendo a la definición de Manufactura Esbelta, después de revisar los principios básicos, se puede decir también que “Es el proceso en el cual se han eliminado o disminuido toda clase de actividades que no agregan valor al producto”.

La casa del Sistema de Producción Toyota

La casa TPS (Liker, 2004), como se muestra en la Figura 1-8, ha llegado a ser uno de los símbolos más reconocidos en la manufactura moderna. Fujio Cho creo la casa del TPS porque una casa es un sistema estructural. La casa es fuerte solamente si el techo, los pilares y los cimientos son fuertes; una unión débil debilita toda la estructura.

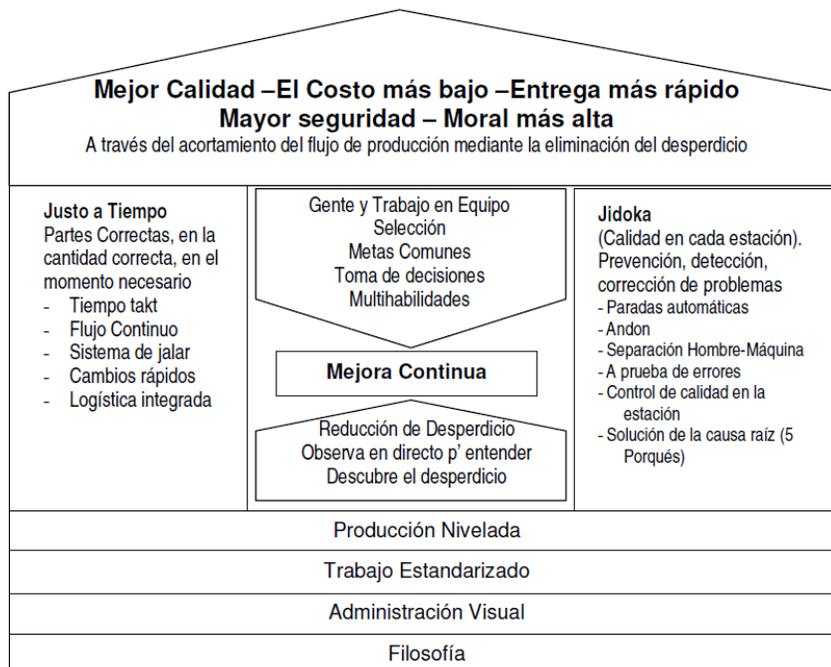


Figura 1-8: La casa del Sistema de Producción Toyota.

(Tomado: Liker J. The Toyota Way. McGraw-Hill, 2004.)

La casa empieza con las metas que son: La Mejor Calidad, el Costo más bajo, y el Tiempo de entrega más Corto, lo cual forma el techo. Después están los pilares que son: El Justo a Tiempo (Partes Correctas, en la cantidad correcta, en el momento necesario), y el Jidoka (No dejar pasar defectos a la siguiente operación). En el centro de la casa está La Gente (Selección, Manejo de múltiples tareas, Trabajo en Equipo, Metas Comunes), La Reducción del Desperdicio (Observar en el lugar del problema para entenderlo, Aplicación del método de solución del problema 5 porqués, y el descubrimiento del desperdicio por observación) y la Mejora Continua o búsqueda de la perfección. Finalmente existen varios elementos de cimentación que incluyen la nivelación de la producción tanto en volumen como en variedad: Heijunka; La necesidad por un proceso estandarizado que promueva el flujo continuo, estable y confiable: Trabajo Estandarizado. La definición para cada cosa y cada cosa en su lugar para dar orden: Administración Visual, y como último la Filosofía del Sistema de Producción Toyota.

Cada elemento de la casa es crítico por sí mismo, pero más importante es la manera en que cada uno de los elementos se refuerza uno a otro. JIT significa remover tanto como sea posible el inventario usado como “colchón” para ocultar problemas que se puedan tener en la línea de producción. El ideal de “Flujo de una pieza” es hacer una pieza a un tiempo, al paso que el cliente lo va demandando (Tiempo Takt), cuando los inventarios de seguridad se reducen o desaparecen los problemas se hacen evidentes, y se tiene que detener la producción. Si los problemas son de calidad esto refuerza el Jidoka. Como no existen inventarios de seguridad o son muy pequeños, esto crea un sentido de urgencia en los operadores ya que se está rompiendo la continuidad y estabilidad del flujo, La Gente al actuar es la que va a promover la estabilidad y el flujo continuo por tanto la Mejora Continua. Algo más que menciona la casa del TPS son la Seguridad y la Moral. No puede haber Mejora Continua sin considerar la seguridad y no puede establecerse un Sistema de Producción centralizado en la gente sin considerar el hacer sentir a gusto a la gente en su trabajo.

- Principios de la Manufactura Esbelta

De acuerdo con Womack y Jones, 2004, quienes básicamente resumieron los conceptos básicos del Sistema de Producción Toyota en su libro “Lean Thinking”, estos son los principios para el desarrollo de la Manufactura Esbelta:

- Valor

Adiciona solamente valor en el proceso de acuerdo al requerimiento del cliente, para cualquier bien o servicio requerido. Una vez que se conoce lo que el cliente está dispuesto a pagar por, se pueden identificar oportunidades donde hay costo pero no valor, en gran beneficio de la compañía.

- Cadena de valor

Identifica la cadena que crea el valor. Es el ciclo de vida de un producto desde el origen de las materias primas, su proceso de transformación en un producto terminado, pasando por el uso y costo de uso del producto, hasta la disposición final de éste. Solamente con un claro entendimiento de esta cadena de valor, las compañías pueden definir claramente el flujo de la cadena de valor de dicho producto y reconocer el desperdicio asociado. Arregla el equipo y el proceso en el orden en que el valor es creado.

- Flujo Continuo del Proceso

El flujo del proceso debe estar organizado de acuerdo a las necesidades del cliente más que de las conveniencias de la organización y avanzar ininterrumpidamente. Si por alguna razón la cadena de valor se detiene, se está creando desperdicio. Cada aspecto de la producción y entrega debe estar sincronizado, tales como programación de la producción, disponibilidad de materiales, cambios de puesta a punto, etc. Sin paradas, sin inventarios, sin órdenes atrasadas por lo que el estado ideal del flujo continuo es el flujo de una pieza.

- Demanda del Cliente

Produce de acuerdo a la demanda del cliente. El cliente es quien debe de activar la orden de producción de su producto, esto incluye a los clientes internos de tal manera que no

se genera exceso de trabajo en proceso (Work in process o WIP). Para lograr esto es necesaria una gran flexibilidad con tiempos de respuesta muy rápidos para diseño, producción y entrega, y requiere también de un mecanismo de información para cada paso dentro de la cadena de valor, de que es lo que se requiere de ellos en cada momento para cumplir las necesidades del cliente. En una organización Esbelta no hay necesidad de gastar en controlar la producción en exceso, ni en almacenamiento de bienes.

- Mejora Continua

Crea la conciencia de la mejora continua. Los conceptos Lean no son un fin, son un camino y la búsqueda de la perfección debe ser perseverante.

- Los pasos para la implementación de la Manufactura Esbelta

Aún existen diferencias entre algunos autores acerca de cuáles deben ser los pasos y el orden en que estos deben seguirse para implantar un programa de desarrollo de Manufactura Esbelta. En algún momento se ha confundido la aplicación de algunas metodologías aisladas, como kanban principalmente, con la verdadera estrategia para la implantación de la Manufactura Esbelta. Es cierto que se usan variadas metodologías, pero la verdadera certeza de su uso y la definición del orden de aplicación lo define el proceso mismo. Los siguientes pasos son una propuesta para la implantación de una estrategia de Manufactura Esbelta y en realidad son una combinación en el libro Value Stream Management de Tapping et al, 2002, y la casa de la manufactura Esbelta y en esencia vienen siendo los principios de la Manufactura Esbelta Revisados anteriormente.

- Crear la Cultura.
- Define el valor desde la perspectiva del cliente.
- Define el estado actual.
- Promueve el flujo continuo del trabajo. Elimina los 8 desperdicios. Produce de acuerdo a la demanda del cliente.
- Persevera en la búsqueda de la perfección.

1.3.2 ACV – Análisis del Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment LCA)

- Descripción del Análisis del Ciclo de Vida (ACV)

El impacto ambiental que genera un producto comienza con la extracción de las materias primas para su fabricación y finaliza cuando se convierte en residuo.

El interés por crear una conciencia ambiental se ve más arraigado a partir de los años setenta, desde entonces, las industrias de Manufactura y los gobiernos de algunos países, en especial los desarrollados realizaron investigaciones, que dieron como resultado algunas prácticas y conclusiones bastante acertadas en el momento de tomar decisiones que favorecieran al medio ambiente y a sus economías. En 1997 se crea la familia ISO 14040, que plantea la siguiente estructura metodológica Figura 1-9.

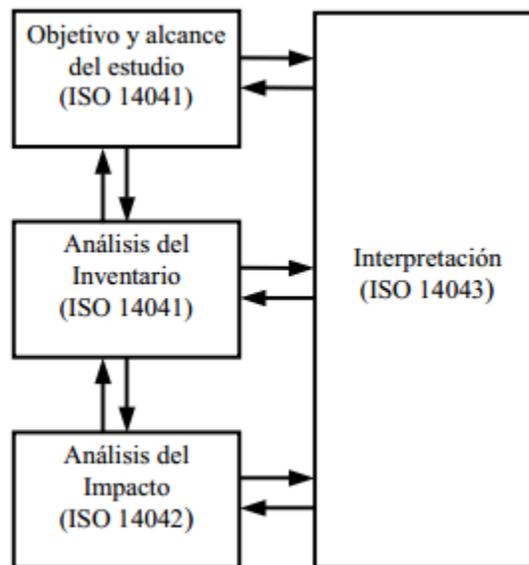


Figura 1-9: Fases de un ACV de acuerdo a ISO 14040 de 1997. (Tomado: ISO 1404-1997)

Para la *International Standard Organization*: La estructura del ACV se representa como una casa con cuatro habitaciones principales, que estarían representadas por las normas ISO14040, ISO14041, ISO14042 e ISO14043, como se observa en la Figura 1-10.

En la norma ISO14040, se establecen los fundamentos de la Evaluación del Ciclo de Vida, es decir, el marco metodológico, y se explica brevemente cada una de las fases, la preparación del informe y el proceso de revisión crítica.

Mientras que en las tres normas restantes se explican en forma detallada cada una de las fases del ACV.

Actualmente se encuentran en preparación la norma ISO/TR14047 (sobre ejemplos ilustrativos de cómo aplicar la norma ISO14042), y la norma ISO14048 (sobre el formato para la documentación de datos para el ACV). Así como el reporte técnico ISO/TR14049 que versa sobre ejemplos ilustrativos de cómo aplicar la norma ISO14041” (Marsmann, 2000).

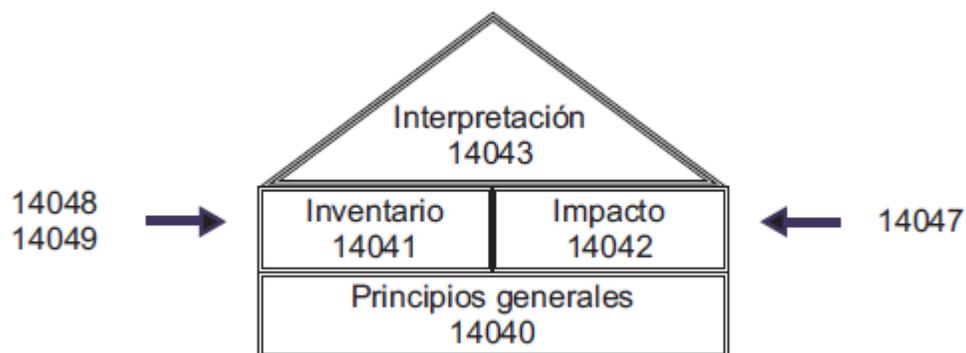


Figura 1-10: Estructura ISO para la metodología Análisis del Ciclo de Vida.

(Tomado de Trama y Troyano, 2002)

La SETAC (Society of Environmental Toxicology And Chemistry) define el Análisis del Ciclo de Vida como:

"Un proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando el uso de la materia y de la energía, así como las emisiones o los vertidos al entorno, para determinar el impacto de ese uso de recursos y esas emisiones o vertidos, con el fin de evaluar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental. El estudio incluye el ciclo completo del producto, proceso o actividad, teniendo en cuenta las etapas de: extracción y procesado de

materias primas, producción, transporte y distribución, uso, reutilización y mantenimiento, reciclado y disposición final."

Teniendo en cuenta la descripción del ACV, su enfoque principal está relacionado con la cuantificación e identificación de los puntos de mejora en cuanto al uso de recursos y la reducción de emisiones al ambiente:

- Uso adecuado de energía y combustibles
- Emisiones GEI
- Generación de residuos sólidos
- Emisión de efluentes

De acuerdo con la norma UNE-EN ISO 14040, el desarrollo de un Análisis del Ciclo de Vida, debe contemplar las siguientes etapas metodológicas:

- Etapa 1: Definición de objetivos y alcance (Unidad funcional). El objetivo determina el nivel de profundidad del estudio y los requerimientos del informe final. Debe incluir el uso que se dará a los resultados obtenidos, así como también las personas responsables de tal información. El alcance consiste en definir el sistema a estudiar incluyendo suposiciones, límites de la evaluación, método de evaluación se utilizará según la profundidad y nivel de detalle del estudio establecidos en el/los objetivos fijados anteriormente (se revisa y modifica durante el estudio).
- Etapa 2: Análisis general de inventario. Esta etapa incluye la identificación de las Inputs/entradas (uso de recursos y materias primas, partes y productos, transporte, electricidad, energía, etc., que se tienen en cuenta en cada proceso/fase del sistema) y Outputs/salidas (emisiones al aire, al agua y al suelo, así como los residuos y los subproductos que se tienen en cuenta en cada proceso/fase del sistema), del sistema del producto. Por sistema del producto se entiende el conjunto de procesos unitarios conectados material y energéticamente que realizan una o más funciones idénticas, Figura 1-11.



Figura 1-12: Etapas y aplicaciones directas del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) en los procesos de Manufactura. (Tomado: ISO 14040-1997)

1.4 Indicadores de Sostenibilidad

Los indicadores de sostenibilidad son una herramienta útil para la formulación de políticas y la comunicación pública en la transmisión de información sobre los países y el rendimiento de las empresas en campos como el medio ambiente, la economía, la sociedad, o la mejora tecnológica. Mediante la visualización de los fenómenos y destacar tendencias, indicadores de sostenibilidad simplificar, cuantificar, analizar y comunicar información de otro modo complejo y complicado. (Sing, et al, 2009).

La característica principal de los indicadores es su capacidad para resumir, el enfoque y condensar la enorme complejidad del entorno dinámico a una cantidad manejable de información significativa (Godfrey y Todd, 2001). Por tanto, los indicadores de sustentabilidad permiten la visualización de fenómenos, poniendo de relieve las tendencias, lo que permite simplificar, cuantificar, analizar y comunicar de un modo más simple información compleja (Singh et al, 2009). Además proporcionan información clave acerca de un sistema físico, social o económico, permitiendo el análisis de las tendencias

y de las relaciones causa-y-efecto y, por tanto, dando un paso más allá de los datos primarios (Veleva y Ellenbecker, 2001).

En los últimos tiempos los distintos indicadores, índices y metodologías de evaluación han evolucionado y amplificado su potencia, mejorando la calidad de la información entregada y con ello la capacidad de conocer de modo más preciso lo que ocurre realmente con la sostenibilidad, tanto a escala local como global. (Toro et al, 2010).

La necesidad de un enfoque sistemático integral de indicadores de definición y medición se reconoce (Bossel, 1999) con el fin de dar metodologías bien estructuradas y fáciles de reproducir y de asegurar que todos los aspectos importantes se incluyan en la medición.

Hay una serie de marcos de evaluación de la sostenibilidad que evalúan el desempeño de las empresas. El Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD, 1997), el Reporte de Iniciativa Global (GRI, 2002a, b) y el desarrollo de normas (OCDE, 2002a, b) fueron la base para los informes de sostenibilidad.

Según Kates et al, 2001, Devuyst et al, 2001 y Ness et al, 2007 el objetivo de la evaluación de sostenibilidad es proporcionar a los encargados de adoptar decisiones, una valoración de ámbito local a global que integre los sistemas de naturaleza y sociedad a corto y largo plazo, a fin de ayudar a determinar qué acciones deben o no deben ser emprendidas para favorecer una sostenible relación entre sistemas.

Cualquier metodología y sus indicadores correspondientes precisan de modo indispensable una clara definición de los objetivos de la política en lo referente a la sostenibilidad (Singh et al, 2009).

En algunos casos, como cuando un recurso ofrece múltiples servicios (Popp et al, 2001), la medición de la sostenibilidad se hace aún más confusa, por lo que, para ellos, debe ser desarrollado un plan de gestión, que considere un índice de la calidad de los recursos para cada servicio.

Para realizar una evaluación de la sostenibilidad es necesario contar con información adecuada que se adapte a los objetivos cuantitativos de sostenibilidad y que debe, según Brink, 1991:

- Proporcionar una indicación clara sobre el cumplimiento de los objetivos de la sostenibilidad
- Referirse al sistema en su conjunto
- Tener un carácter cuantitativo
- Ser comprensible para los no científicos
- Contener parámetros que puedan ser utilizados por períodos de una o más décadas

De manera complementaria, Beloff y Beaver, 2000, señalan que las medidas de sostenibilidad deberían satisfacer los siguientes criterios:

- Ser simples y comprensibles para una variedad de audiencias
- Ser reproducibles y consistentes al comparar diferentes períodos de tiempo, unidades de negocio, o alternativas de decisión
- Robustas y no contradictorias (es decir, una mejor medida debe indicar un rendimiento más sostenible)
- Complementar los programas de regulación existentes
- Ser costo-efectivas en términos de recogida de datos, haciendo uso en gran parte de los datos obtenidos o disponibles para otros fines
- Ser útiles para adoptar decisiones
- Ser apilables a lo largo de la cadena de suministro o del ciclo de vida del producto

Para enfatizar más en el contexto que se pretende evaluar, se toma en cuenta el marco de la eco-eficiencia del WBCSD que intenta medir el progreso hacia los indicadores económicos y de sostenibilidad con el medio ambiente utilizando que son relevantes y significativos para el negocio (WBCSD, 1999). Esto con el fin de darle más relevancia al aspecto ambiental y al aspecto económico dentro de la industria de Manufactura de Productos de Aluminio.

Para asegurar medidas optimizadas y efectivas hacia la sostenibilidad, el progreso y las deficiencias deben ser monitoreados y medidos. Los sistemas de medición (indicadores) para el Desarrollo Sostenible son un área, donde se ha llevado a cabo un gran trabajo de

investigación y trabajo práctico. Las métricas no deben mezclarse con las herramientas y conceptos, ya que no ofrecen ayuda directa para el trabajo real hacia el Desarrollo Sostenible, pero definen la estructura y operan como métricas y ciclos de retroalimentación para el proceso.

En 1997, el Programa de las Naciones Unidas (UNEP), junto con la organización no gubernamental de Estados Unidos, la Coalición para la Economía Ambientalmente Responsable (CERES) puso en marcha este organismo, con el objetivo de "mejorar la calidad, el rigor y la utilidad de los informes de sostenibilidad".

Por lo tanto, la información es el gran punto focal de las directrices.

El Reporte de Iniciativa Global (GRI) utiliza una estructura jerárquica en tres áreas principales, a saber, social, económica y ambiental, Figura 1-13.

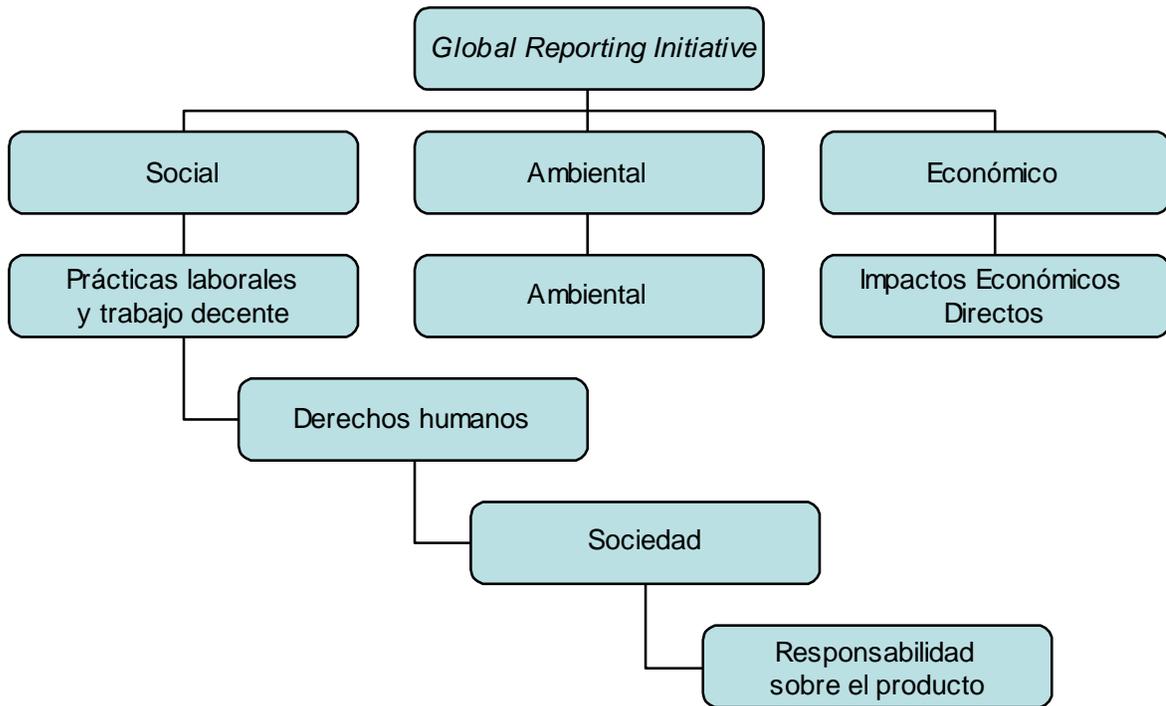


Figura 1-13: Marco de la estructura jerárquica del Reporte de Iniciativa Global (GRI)
(Tonado: GRI 2002a)

Sin embargo, para el cumplimiento de los objetivos de este trabajo sólo se tendrán en cuenta las áreas económica y ambiental.

En este trabajo no se pretende construir los índices de sostenibilidad ambientales, ni económicos, se emplearan algunos suministrados en la literatura, sin embargo, se siguen

los parámetros establecidos para el análisis del Desarrollo Sostenible en los procesos de Manufactura desde los Aspectos Ambientales y Económicos.

1.4.1 Indicadores

Utilizando la definición para *López y Mantilla, 2006*: “Los indicadores ambientales son signos de cambio que reflejan, en la dinámica del desarrollo, condiciones específicas de las transformaciones sistémicas del componente ambiental y su incidencia en la alteración del bienestar social del hombre y demás seres vivos. Para un mayor significado en la evaluación de la sostenibilidad ambiental, se establecen indicadores con base en parámetros que permiten una visión holística de la naturaleza, y en relación con la supervivencia del hombre. Los indicadores, son signos de evaluación ambiental que se generan del análisis de los procesos que utilizan recursos ambientales para producir resultados.

Se obtienen mediante una serie de parámetros específicos que, considerados en su conjunto y no de manera aislada, determinan la eficiencia, la economía, la equidad y el impacto ambiental” (*López y Mantilla, 2006*).

La OECD, 2002a, define indicador como "una variable que describe una característica el estado de un sistema, generalmente a través de datos observados o estimados".

Según *Lancker y Nijkamp, 2000*: “Algunos indicadores de acuerdo con *Mayer, 2008*, pueden informar acerca de la posición del sistema particular en relación con límites u objetivos de la sostenibilidad (indicadores de distancia al objetivo) o como indican *Hodge et al, 1999*, proporcionan señales para medir el progreso hacia objetivos que contribuyen conjuntamente al bienestar humano y al bienestar de los ecosistemas. Es importante señalar que un indicador no dice nada acerca de la sostenibilidad, si no hay un valor de referencia, como por ejemplo los límites y situaciones entre los que varían sus valores” (*Lancker y Nijkamp, 2000*).

En la perspectiva de *Veleva y Ellenbecker, 2001*: “Es importante señalar la diferencia entre indicadores ambientales e indicadores de sostenibilidad; mientras que los primeros señalan el estado y variación del medioambiente, los indicadores de sostenibilidad indican además, el estado y la variación del sistema humano en relación con el sistema

natural (Jiménez-Herrero, 2001). Además, los indicadores proporcionan información clave acerca de un sistema físico, social o económico, permitiendo el análisis de las tendencias y de las relaciones causa-y-efecto y, por tanto, dando un paso más allá de los datos primarios” (Veleva y Ellenbecker, 2001).

Según Lundin, 2003 y Berke y Manta, 1999, los Indicadores de Desarrollo Sostenible pueden ser utilizados para:

- Anticipar y evaluar las condiciones y tendencias
- Proporcionar información de alerta temprana para prevenir daño económico, social y ambiental
- Formular estrategias y comunicar ideas
- Apoyar la toma de decisiones

Al desarrollar una metodología para evaluar la sostenibilidad ambiental y económica de la industria de Manufactura de Aluminio, se definirán ---algunos indicadores, entre los que se destacan los relacionados con las emisiones de gases de efecto invernadero, la producción y utilización de desechos, costo de la energía producida y costo de disminuir la emisión de CO₂.

1.4.2 Índices

Un índice es una agregación cuantitativa de indicadores que puede proporcionar una visión simplificada, coherente y multidimensional de un sistema, (Mayer, 2008), lo que resulta muy útil para centrar la atención y, a menudo simplificar el problema (Atkinson et al, 1997).

Los índices se basan en indicadores que no necesariamente tienen una unidad común de medida, situación que dificulta la forma de ponderación. Otro problema de los índices es su subjetividad, originada en los supuestos de la estimación del error de los datos, en los mecanismos de inclusión o exclusión de indicadores, en la transformación y recorte de indicadores, en el plan de normalización, en la elección de la imputación del algoritmo de cálculo, la elección de las ponderaciones y la elección del sistema de agregación (Singh

et al, 2009). Los diversos métodos para el cálculo de índices son detallados por OECD, 2002b, c.

Si bien los métodos pueden parecer diferentes, en realidad, todos ellos poseen algunas características comunes (Munda, 2005):

- Todos los índices se basan en el supuesto del establecimiento de una escala de medición para los fines de agregación (dinero, energía, espacio, etc.). Esto crea la necesidad de tomar decisiones muy fuertes en los supuestos de los coeficientes de conversión que se utilizarán y hasta qué punto las actuaciones económicas pueden causar la destrucción del medio ambiente o la exclusión social.
- El objetivo de la política a menudo no es claro. Las comparaciones entre países o ciudades diferentes son los objetivos de la política de gestión de sostenibilidad de un determinado país o ciudad. En este último caso, un ejercicio de evaluación comparativa se convierte en esencial. Los índices agregados son algo confusos, si se desea obtener sugerencias de política.
- La mayor parte de los métodos pertenecen a la familia más general de los indicadores compuestos y como consecuencia, las hipótesis utilizadas para su construcción son comunes a todos ellos.

Un completo resumen de los índices utilizados en las áreas de la innovación, conocimiento y tecnología, de desarrollo, comercio y economía, ecosistema, industria, sostenibilidad de ciudades, políticas medioambientales nacionales y regionales, entre otras puede encontrarse en Singh et al, 2009.

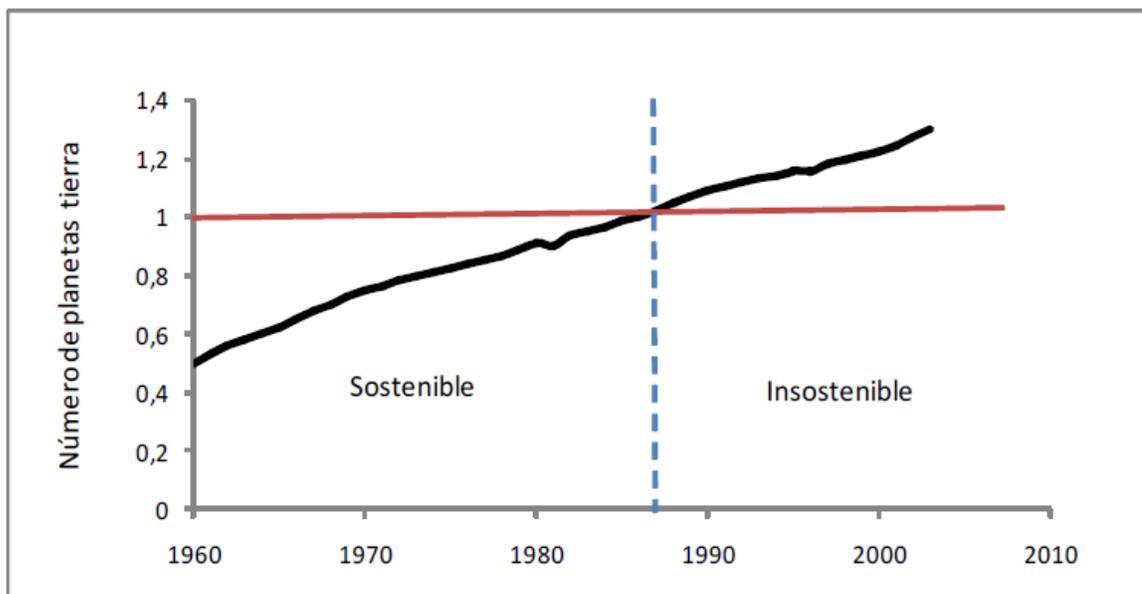
1.4.3 Indicadores Ambientales

- Índices comúnmente utilizados a nivel mundial.
- Huella ecológica (HE)

La huella ecológica definida en 1996 por *Rees y Wackernagel*, 1996, es un indicador de carácter integrador del impacto que ejerce una cierta comunidad humana, país, región o ciudad sobre su entorno. Corresponde al área de terreno necesaria para producir los recursos consumidos y para asimilar los residuos generados por una población de terminada con un modo de vida específico, donde quiera que se encuentre esa área.

Este indicador se sustenta sobre la base cuantitativa de tierra y el agua necesarias para mantener un nivel de vida en lo infinito, por lo que asume ciertas mejoras en la eficiencia. El cálculo de la HE se basa en los datos de estadísticas nacionales de consumo, de esta manera consiste en la normalización de cualquier consumo convertido en el uso de la tierra (Böhringer y Jochen, 2007).

Según *World Wildlife Fund for Nature*, 2006: “se calcula que la huella ecológica mundial ha superado la capacidad ecológica del mundo en alrededor de un 25% (WWF, 2006). En promedio la huella ecológica *per cápita* de los países de ingresos altos durante el año 2003 fue de 6,4 ha/persona, lo que supera dramáticamente la disponibilidad *per cápita* de los recursos productivos de la tierra, que en ese año era de sólo 1,8 ha/persona (WWF, 2006). En la Figura 1-14, es posible apreciar la evolución de la huella ecológica durante las últimas 4 décadas”.



Fuente: Adaptado de World Wide Fund for Nature, (2006).

Figura 1-14: Huella Ecológica de la humanidad (1961-2003). (Tomado: Humanity's Ecological Footprint, 1961-2003).

- Producto Interno Bruto (PIB)

Para *Fernández*, 2006: El PIB “Corresponde a un indicador netamente económico, ya que deja de lado todos los efectos ambientales que se producen durante el proceso

productivo. Representa la suma del valor añadido de todos los productos de una economía. El PIB a precios de mercado (PIBpm) es destinado al gasto en la demanda de bienes y servicios de consumo final (C) y de bienes de inversión (Formación Bruta de Capital: FBC), esto es, la demanda interna agregada. A esta demanda interna si se le añade el saldo exterior (exportaciones, E, menos importaciones, I) se obtiene el Producto Interno Bruto a precios de mercado (PIBpm), según la siguiente expresión:

$$\text{PIBpm} = C + \text{FBC} + E - I$$

El PIBpm, es producto porque mide la producción final; es interno, por obtenerse en el territorio del país, con independencia de que los propietarios de los factores sean o no residentes; es bruto, porque no contabiliza la depreciación del capital utilizado para generarlo y por último, es a precios de mercado, porque incorpora al valor de la producción los impuestos que la gravan y no deduce de su coste las subvenciones que se le conceden” (Fernández, 2006).

- PIB Verde

Continuando con las descripciones realizadas por el mismo autor *Fernández, 2006*: “El PIB Verde fue desarrollado en el ámbito de aplicación de SCAEI (Sistema Integrado de Contabilidad Ambiental y Económica - PNUMA, 2000 y Naciones Unidas, 2003 citado por Singh et al, 2009). Su objetivo es reflejar en los indicadores macroeconómicos de producción (PIB, Producto Nacional Neto, Producto Nacional Bruto) una serie de ajustes, particularmente la depreciación sufrida por los activos medioambientales y los efectos sociales derivados del aumento de la contaminación ambiental, que no son contabilizados en el PIB convencional de los Sistemas de Cuentas Nacionales” (Fernández, 2006).

Existen al menos tres formas de obtener el PIB Verde propuestas por *Hanley, 2000*:

- restando las depreciaciones de los recursos naturales causados por su extracción de la Renta Racional Neta.
- restando a la Renta Nacional Neta los gastos necesarios para alcanzar el mismo estado del medio ambiente al final del período.
- restando los gastos de presión sobre el medioambiente y destrucción (calculados por los métodos de la disposición a pagar). (Hanley, 2000)

La agregación de los valores obtenidos en cada método se realiza mediante la adición simple de los valores monetarios.

Algunos de los indicadores Ambientales para la industria, se describen brevemente a continuación:

- Eco-Puntos.

Un número de esquemas de eco-puntos se han desarrollado, las puntuaciones de Eco-puntos en Eco-Scan, se basan en una metodología de "distancia al objetivo". La premisa subyacente es que existe una correlación entre la gravedad de un efecto y la distancia entre el nivel actual y el nivel objetivo de lograr la sostenibilidad. Son similares en que cubren todas las etapas del ciclo de vida-producción, distribución, uso y fin de su vida útil.

Para cada etapa, el usuario selecciona los materiales apropiados, procesos, usos y detalles de transporte de las opciones que se ofrecen en el software. El paquete de continuación calcula un "eco-puntaje" para cada uno de estos elementos, en base a una serie de puntos por la cantidad o el uso dado. Tres bases de datos independientes, a saber, Eco indicador 95, Idemat 96, Eco indicador 97 de eco-puntos se proporcionan con el paquete de Eco-Scan, que permite a los usuarios seleccionar la que consideren más apropiada para el uso (Pre Consultants, 2004).

- Eco-brújula.

La eco-brújula ha sido desarrollada por Dow Chemical para proporcionar un resumen simple, visual de los datos de LCA (Fussler y James, 1996). Se basa en los indicadores de eco-eficiencia desarrollados por el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD), con algunas modificaciones de menor importancia (DeSimone y Popoff, 1997). La eco-brújula cuenta con seis "polos" o dimensiones:

- intensidad energética
- intensidad de masas
- riesgo para la salud y el potencial del medio ambiente
- conservación de los recursos
- grado de re-valorización (reutilización, refabricación y reciclaje)
- extensión del servicio

- Eco-indicador 99.

El Eco-indicador 99 es un estado del arte, el método de evaluación de impacto por daños orientados a los materiales y procesos, que ha sido desarrollado por un gran equipo de expertos en 1997-1999 (Pré Consultants, 2000). El índice compuesto, que se calcula a través de una herramienta fácil de usar, tiene como objetivo ayudar a los diseñadores y gerentes de producto para mejorar los productos. El Eco-indicador 99 aborda tres categorías de daño (puntos finales): (a) a la salud humana, (b) a la calidad del ecosistema y (c) a los recursos, los minerales y combustibles fósiles. Los daños a la salud humana se expresan como DALY (años de vida ajustados por discapacidad). Se han desarrollado modelos para los efectos respiratorios y cancerígenos, los efectos del cambio climático, el agotamiento de la capa de ozono y la radiación ionizante. Daños al Ecosistema de Calidad se expresan como el porcentaje de especies que han desaparecido en un área determinada debido a la carga ambiental. La extracción de recursos está relacionada con la calidad de los recursos minerales y fósiles restantes.

- Evaluación Ambiental de tecnologías de producción más limpia.

Fizal, 2007, desarrolló un método de evaluación ambiental de las tecnologías de producción más limpias que permite el análisis cuantitativo de impacto ambiental. El método se basa en los flujos de materiales y energía, y utiliza un conjunto de índices de perfil, incluyendo las materias primas, la energía, los residuos, el producto y los perfiles de embalaje, que describen los flujos de todos los materiales y energéticos relacionados con la tecnología que se investiga. Los índices se utilizan como base para la determinación de un índice integrado para la evaluación medioambiental global de tecnologías de producción más limpias. El método presentado puede emplearse para evaluar el daño al medio ambiente de los procesos y productos tecnológicos implementados, modernizados y modificados, también para realizar análisis comparativos de tecnologías alternativas.

- COMPLIMENT - Índice de Desempeño Ambiental para las Industrias (EPIs).

Hermann et al, 2007, desarrollaron una herramienta de análisis, llamado cumplido, que se puede utilizar para proporcionar información detallada sobre el impacto medioambiental global de una empresa. COMPLIMENT integra partes de herramientas tales como la evaluación del ciclo de vida, análisis de criterios múltiples y los indicadores

de desempeño ambiental. La metodología se basa en indicadores de desempeño ambiental, ampliando el alcance de la recopilación de datos hacia un enfoque de ciclo de vida y que incluye una ponderación y etapa de agregación. El método comienza con la selección de los EPIs deben calcularse teniendo en cuenta la definición del objetivo y el alcance de un LCA, seguido de la recolección de datos, el análisis y la conversión y, posteriormente, la clasificación, caracterización y medidas de normalización. Llevar a cabo la clasificación, caracterización y normalización en un conjunto de datos de salida en forma de categorías de impacto, tales como el calentamiento global, el potencial de acidificación, eutrofización potencial, precursores de ozono y la salud humana. Tres conjuntos de pesos basados en las perspectivas locales, regionales y nacionales fueron desarrollados utilizando análisis AHP. Como siguiente paso en la aplicación COMPLIMENT, los pesos por categoría de impacto, se multiplican por los posibles impactos normalizado por categoría. Los impactos ponderados que se deriven por la categoría a continuación, se pueden añadir hasta formar un índice del impacto ambiental potencial total normalizada para cada perspectiva.

- Factores de emisión ambiental por Energía Eléctrica
- Emisiones por Electricidad (NWPP subregión), usando los valores de emisión de eGrid

2004 NWPP eGrid emission rates

921.10 lbs CO₂/MWh

0.022 lbs CH₄ / MWh

0.014 lbs N₂O / MWh

MWh x lbs CO₂/MWh ÷ 2204.62 (lbs / metric ton) = MT CO₂ emissions
(EPA, 2005)

- Cálculo Indirecto de Emisiones por uso de Electricidad, Figura 1-15.

$\begin{matrix} \text{Emisiones de CO}_2 \text{ (Ton métricas)} = \\ \text{Uso de Electricidad} * \text{Factor de Emisión} \div 2,2024.64 \\ \text{(MWh)} \qquad \qquad \text{(lbs CO}_2\text{/MWh)} \qquad \text{(lbs/Ton} \\ \text{métricas)} \end{matrix}$
$\begin{matrix} \text{Emisiones de CH}_4 \text{ (Ton métricas)} = \\ \text{Uso de Electricidad} * \text{Factor de Emisión} \div 2,2024.64 \\ \text{(MWh)} \qquad \qquad \text{(lbs CH}_4\text{/MWh)} \qquad \text{(lbs/Ton} \\ \text{métricas)} \end{matrix}$
$\begin{matrix} \text{Emisiones de N}_2\text{O (Ton métricas)} = \\ \text{Uso de Electricidad} * \text{Factor de Emisión} \div 2,2024.64 \\ \text{(MWh)} \qquad \qquad \text{(lbs N}_2\text{O /MWh)} \qquad \text{(lbs/Ton} \\ \text{métricas)} \end{matrix}$

Figura 1-15: Emisiones por uso de electricidad. (Tomado: EPA, 2005)

Conversión:

MWh = 3.412 MMBtu

Cálculo de toneladas métricas de dióxido de carbono, el metano y el óxido nitroso para cada combustible en la mezcla de combustible.

- Conversiones en Dióxido de Carbono Equivalente, Figura 1-16.

$\begin{matrix} \text{Emisiones de CO}_2 & = & \text{Emisiones de CO}_2 * 1 \\ \text{(Ton métricas CO}_2\text{e)} & & \text{(Ton métricas)} \qquad \text{(GWP)} \end{matrix}$
$\begin{matrix} \text{Emisiones de CH}_4 & = & \text{Emisiones de CH}_4 * 21 \\ \text{(Ton métricas CO}_2\text{e)} & & \text{(Ton métricas)} \qquad \text{(GWP)} \end{matrix}$
$\begin{matrix} \text{Emisiones de N}_2\text{O} & = & \text{Emisiones de N}_2\text{O} * 310 \\ \text{(Ton métricas CO}_2\text{e)} & & \text{(Ton métricas)} \qquad \text{(GWP)} \end{matrix}$
$\begin{matrix} \text{Emisiones Totales} & = & \text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{N}_2\text{O} \\ \text{(Ton métricas CO}_2\text{e)} & & \text{(Ton métricas CO}_2\text{e)} \end{matrix}$

Figura 1-16: Conversiones a CO₂eq. (Tomado: EPA, 2005)

NWPP eGrid	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e
MT emissions	2089.022	0.050	0.032	
x GWP	2089.022	1.048	9.843	2099.913

Tabla 1-1: Ejemplo: Emisiones Indirectas con 5000 MWh de Electricidad, usando la base de datos eGrid. (Tomado: EPA, 2005)

Es decir, $5000 \text{ MWh} \times 921.10 \text{ lbs CO}_2 / \text{MWh} \div 2204.62 \text{ (lbs/MT)} = 2089.022 \text{ MT CO}_2$
 emissions x 1 GWP = 2089.022 CO₂eq
 GWP CO₂ =1; CH₄ = 21; N₂O = 310

La evaluación se sustenta en el empleo de indicadores que describen una característica del estado de un sistema, generalmente a través de datos observados o estimados, e índices que consisten en una agregación cuantitativa de indicadores. Los indicadores se generan del análisis de los procesos que utilizan recursos ambientales para producir resultados y pueden ser medioambientales o de sostenibilidad (cuando se tienen en cuenta los factores de tiempo, límites y objetivos).

Índices como la Huella Ecológica, el Índice de Desarrollo Humano, el Producto Interno Bruto (PBI), entre otros informan tanto del grado de inequidad global como de la sobreutilización de recursos por parte de las economías de algunos países. (Toro et al, 2010).

- Factores de emisión ambiental por Energía Eólica

Para las turbinas de viento las emisiones de GEI surgen en la producción y en la construcción de la planta de la turbina, que varían entre el 72% y el 90% de las emisiones acumuladas. Las diferencias significativas se encuentran principalmente en la fundación de la central eléctrica.

Por ejemplo, las turbinas eólicas en el mar requieren cantidades significativamente mayores de acero y cemento que una contraparte en tierra para la construcción. Para las plantas en tierra, sin embargo la mayor parte de las emisiones de GEI relacionadas con la producción de la turbina (principalmente para la torre y la góndola). Las emisiones de GEI no relacionadas con la construcción y la producción surgen durante la operación y mantenimiento, desmantelamiento, transporte de materiales y de la turbina, y oscilan entre el 10% y el 28% de las emisiones acumuladas.

Por lo general, las turbinas más grandes en condiciones de viento similares tienen las emisiones de GEI en el ciclo de vida más bajas que las turbinas más pequeñas, mientras que las turbinas “offshore” tienen emisiones mayores que las turbinas “onshore” dado factores de capacidad iguales (o condiciones de viento), debido al alto nivel de las emisiones asociadas a la fundación, conexión y montaje de las turbinas marinas (Dones et al, 2004).

Las emisiones de GEI del ACV de turbinas de viento están en un sitio muy específico y sensible a las condiciones de velocidad del viento, debido a la relación cúbica de la velocidad del viento para la producción de energía.

Dado que los regímenes de viento varían significativamente con la geografía, diferentes factores de capacidad utilizados en los estudios se añaden a la variación que se observa en los resultados, los cuales se encuentran entre 8 y 30 gCO₂eq/kW para “onshore” y 9 y 19 gCO₂eq/kW para las turbinas “offshore” (ver Figura 1-17). Dado que la tecnología de turbinas eólicas está mejorando rápidamente la exactitud de los resultados del ACV sólo tienen una vida útil limitada ya que estas mejoras pueden alterar significativamente el resultado de un estudio de este tipo. La mejora de la vida útil de una turbina eólica, por ejemplo, puede reducir drásticamente los valores de ACV (lo que también es cierto acerca de los diferentes estudios de ACV asumiendo diferentes cursos de la vida en el inicio de su estudio).

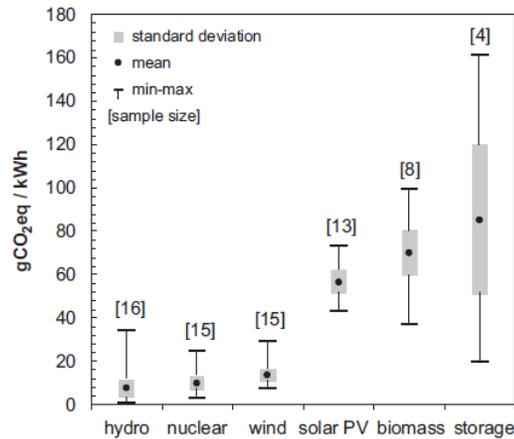


Figura 1-17: Resumen de las emisiones de gases de efecto invernadero en ciclo de vida de las centrales seleccionadas. Energía Eólica. (Tomado: Weisser, 2007)

1.4.4 Indicadores Económicos

Es importante desarrollar un modelo económico que defina la información necesaria de manera económica y operativa, que describa de forma detallada la metodología de cálculo de las alternativas evaluadas y con base a los resultados obtenidos llegar a la toma de decisiones.

Para esto, se toma en cuenta la metodología establecida en las bases económicas que ofrece la ingeniería económica.

Según Blank y Tarquin, 2008, “la ingeniería económica es una colección de técnicas matemáticas que simplifican las comparaciones económicas. Con estas técnicas es posible desarrollar un enfoque racional y significativo para evaluar los aspectos económicos de los diferentes métodos (alternativas) empleados en el logro de un objetivo determinado por una organización. La ingeniería económica es, entonces, una herramienta de ayuda para tomar decisiones mediante la cual se escogerá la opción más factible económicamente para la compañía”.

- Conceptos fundamentales de la ingeniería económica:

Antes de describir las alternativas a usar, es necesario definir algunos conceptos fundamentales, básicos para el desarrollo de este trabajo.

- Interés:

En el mundo financiero, el dinero es un bien, y que como todos los bienes que se compran o se venden, el dinero cuesta dinero. El costo del dinero se establece y mide con una tasa de interés, un porcentaje que se aplica periódicamente y se suma a una cantidad de dinero durante un período especificado.

- Valor Temporal del Dinero:

A menudo se dice que el dinero hace dinero. La declaración es muy cierta, porque si se elige invertir dinero hoy, se espera tener más dinero en el futuro. Si una persona o empresa pide prestado dinero hoy, mañana más que el capital original del préstamo será adeudado. Este hecho se explica también por el valor temporal del dinero.

El cambio en la cantidad de dinero durante un período de tiempo dado se llama el valor temporal del dinero; es el concepto más importante en la economía de la ingeniería.

El valor temporal del dinero puede ser tomado en cuenta por varios métodos en un estudio de la economía. El resultado final del método es una medida del valor, por ejemplo, la tasa de retorno. Esta medida se utiliza para aceptar/rechazar una alternativa. (Blank y Tarquin, 2008).

- Alternativas

Una alternativa es una opción independiente para una situación dada.

Las alternativas de la ingeniería económica generalmente incluyen factores tales como: costo de compra (inversión), los costos anuales de mantenimiento y operación, el valor de reventa o salvamento, la tasa de interés, etc.

- Cálculo de interés

Blank y Tarquin, 2008, dicen que “cuando el interés se expresa como porcentaje de la cantidad original por unidad de tiempo, el resultado es una tasa de interés. Esta tasa se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Porcentaje de la tasa de interés} = \frac{\text{Interés acumulado por unidad de tiempo}}{\text{Cantidad original}} \times 100$$

El mecanismo que se usa para expresar el valor del dinero a través del tiempo es la tasa de interés, esta expresa el cambio en el valor del dinero conforme se mueve hacia adelante o hacia atrás en el tiempo. El período de tiempo regularmente utilizado para expresar el interés como tasa de interés es un año, y a la unidad de tiempo para expresar una tasa de interés se le denomina período de interés.

- Equivalencia.

Blank y Tarquin, 2008, afirman que “el valor del dinero en el tiempo y la tasa de interés utilizados simultáneamente generan el concepto de equivalencia, lo que significa que las sumas diferentes de dinero a términos diferentes de tiempo pueden ser iguales en valor económico”.

- Métodos para calcular el interés

Según Park, 1997, “el dinero se puede prestar y reponer de muchas maneras, como también existe un número igual de formas en que el dinero puede obtener intereses. Por lo general, al final de cada período de intereses, el interés devengado por el capital se calcula de acuerdo con una tasa de interés especificada. Los dos esquemas para calcular el interés devengado generan lo que se conoce como interés simple o interés compuesto.

- Interés simple

Este esquema considera que el interés solo se genera para el capital durante cada período de interés. En otras palabras; con el interés simple, el interés generado en cada período de interés no produce intereses adicionales en los períodos restantes, aunque no se retire.

En términos generales, para un depósito de P pesos a una tasa de interés simple i para n períodos, el interés devengado total I sería:

$$I = (iP)n$$

La cantidad total disponible al final de n períodos, F , sería:

$$F = P + I = P + (iP)n = P(1 + in)$$

- Interés compuesto

El esquema de interés compuesto, cada período de interés se basa en la cantidad total que se debe al final del período anterior. Esta cantidad total incluye el capital original más el interés acumulado que permanece en la cuenta. En este caso, lo que se está haciendo es incrementar la cantidad de depósito por la cantidad del interés devengado. En términos generales, si se ha depositado (invertido) P pesos a una tasa de interés i , tendría $(P + iP) = P(1 + i)$ pesos al final de un período. Si se reinvierte toda la cantidad (capital más interés) a la misma tasa i para otro período, al final del segundo se tendría". (Park, 1997)

$$P(1 + i) + i[P(1 + i)] = P(1 + i)(1 + i) = P(1 + i)^2$$

El interés compuesto es más flexible y real, ya que valora período por período el dinero realmente comprometido en la operación durante dicho período y, por ese motivo, es el más utilizado en las actividades económicas.

- La tasa mínima atractiva de rendimiento (TMAR)

Todo inversionista tiene en mente, antes de invertir beneficiarse por el desembolso que va a hacer. Por lo tanto, deberá tener una tasa de referencia sobre la cual basarse para hacer sus inversiones.

Baca, 1994, comenta que "los inversionistas esperan que su dinero crezca en términos reales. Como en todos los países hay inflación, aunque su valor sea pequeño, crecer en términos reales significa ganar un rendimiento superior a la inflación, ya que si se gana

un rendimiento iguala a la inflación el dinero no crece sino que mantiene su poder adquisitivo. Es esta la razón por la cual no debe tomarse como referencia la tasa de rendimiento que ofrecen los bancos, pues es bien sabido que la tasa bancaria de rendimientos es siempre menor a la inflación. Si los bancos ofrecieran una tasa igual o mayor a la inflación implicaría que, o no ganan nada o que transfieren sus ganancias al ahorrador, haciéndolo rico y descapitalizando al mismo banco, lo cual nunca va a suceder.

Por lo tanto, la ***TMAR*** se puede definir como:

$$***TMAR = tasa de inflación + premio al riesgo***$$

El premio al riesgo significa el verdadero crecimiento del dinero y se llama así porque el inversionista siempre arriesga su dinero (siempre que no invierta en alguna institución financiera) y por arriesgarlo merece una ganancia adicional sobre la inflación. La fijación de un valor para el premio al riesgo y por tanto para la ***TMAR*** es, como su nombre lo indica, el mínimo aceptable. Lo importante en los estudios económicos, no es el valor de la ***TMAR***, sino el concepto que conlleva y las consecuencias que implica determinar aceptablemente su valor para tomarlo como parámetro de referencia". (Baca, 1994)

Según Varela, 1997, "la ***TMAR*** entonces, no es un valor caprichoso, no es el retorno que los empresarios desearían para lograr en sus proyectos, es el retorno que en promedio han venido logrando en las diversas actividades económicas a las que han tenido acceso. Es la rentabilidad promedio, a la que se puede tener, con seguridad y realismo, hacer y lograr hoy"

- Símbolos y diagramas de flujo de caja

Thuesen et al, 1986, dicen que "en muchos estudios de ingeniería económica únicamente se tienen en cuenta pequeños elementos de la totalidad de una empresa. Por ejemplo, frecuentemente se hacen estudios para evaluar las consecuencias de la compra de un equipo o maquinaria con un complejo de múltiples instalaciones. En tales casos sería deseable aislar el elemento del todo, utilizando para ello algún medio análogo al diagrama de "cuerpo libre" utilizado en mecánica. Para hacerlo, por ejemplo,

con respecto a una máquina que está siendo considerada para adquisición sería necesario reconocer todos los ingresos y todos los desembolsos que produciría su trabajo. Si esto pudiera hacerse, los desembolsos podrían sustraerse de los ingresos y esta diferencia representaría utilidad o ganancia, diferencia a partir de la cual se podría calcular el rendimiento sobre la inversión,

Para ayudar a identificar y registrar los efectos económicos de inversiones alternativas, se puede usar una descripción gráfica de las transacciones monetarias involucradas en cada una de estas. Este descriptor gráfico, conocido como diagrama de flujo de caja, suministra toda la información necesaria para analizar una propuesta de inversión”.

Según Varela, 1997, “el diagrama de flujo es simplemente un eje horizontal, en el que se establecen divisiones en períodos uniformes de tiempo (meses, Trimestres, años, etc), denominados períodos de flujo o de pago. Perpendicularmente al eje horizontal se le colocan flechas que representan las cantidades monetarias, que se han recibido o desembolsado (flujos de efectivo), en dicha posición de tiempo, con la siguiente convención: ingresos, flechas hacia arriba, y egresos, flechas hacia abajo.

Cuando en una misma posición existen ingresos y egresos es válido calcular el efecto neto o Flujo Neto de Efectivo (*FNE*) y, por estar en la misma posición, es posible sumarlos algebraicamente, sin transformación alguna”.

En la Figura 1-18, aparece un ejemplo de un diagrama de flujo que representa las transacciones desde el punto de vista del prestatario. Mientras que en la Figura 1-19, se muestra un diagrama de flujo que representa la visión del prestamista.

Es importante entender que es necesario identificar siempre el punto de vista que se haya adoptado al realizar un diagrama de flujo.

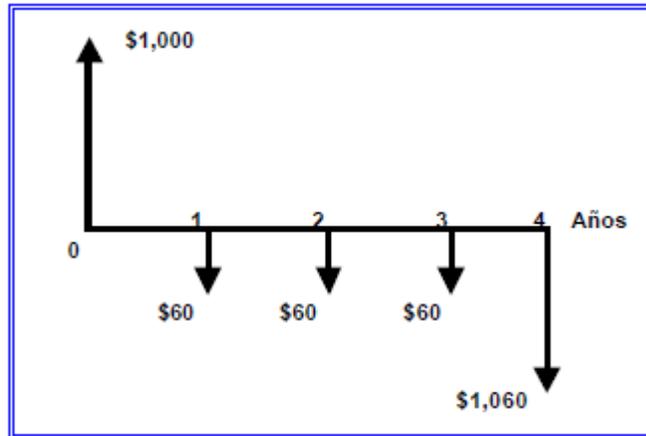


Figura 1-18: Diagrama de flujo (prestatario). (Tomado: Varela, 1997)

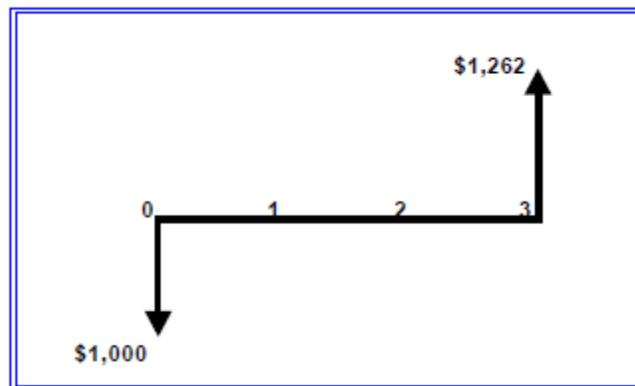


Figura 1-19: Diagrama de flujo (prestamista). (Tomado: Varela, 1997)

Fórmulas de interés y equivalencia

- Fórmulas de interés

Después de definir los conceptos fundamentales de la ingeniería económica, es importante presentar las fórmulas de interés que se utilizan en comparaciones más complejas de flujos de efectivo. Las fórmulas de interés, expresan los factores de interés compuesto resultantes con una notación convencional que puede sustituirse en una fórmula para indicar en forma precisa que factor usar para resolver una ecuación. Por ejemplo, el factor $F = P(1 + i)^n$ se puede expresar con una notación funcional $(F/P, i\%, n)$, que se lee “encuentre F , dado P , i y n ”. Cuando se incorpora a la fórmula el factor se expresa como sigue:

$$F = P(1 + i)^n = P(F/P, i\%, n). \text{ (Park, 1997)}$$

Para encontrar estos valores, se utiliza una macro de Excel que evalúa estas fórmulas de interés.

- Los cinco tipos de flujo de efectivo

Cuando es posible identificar patrones en las transacciones de flujo de efectivo, se pueden usar expresiones concisas para el cálculo del valor presente o futuro de la serie. Para ello, se clasifican las transacciones de flujo de efectivo en cinco categorías: (1) pago único, (2) serie de pagos iguales, (3) serie de gradiente lineal, (4) serie de gradiente geométrico, y (5) serie irregular. (Nievel, 1996)

Para este trabajo, sólo se definirán las transacciones tipo (1) y (2), pues estas son las utilizadas en el desarrollo de la aplicación.

- Pago único

El caso más sencillo comprende la equivalencia de una cantidad presente y su valor futuro. De esta manera, las fórmulas de pago único sólo manejan dos cantidades: una cantidad de valor presente, P , y su valor futuro, F .

- Factor de pago único:

Para obtener la cantidad que se acumula después de n períodos a una tasa de interés de i , solamente se multiplica la cantidad presente P por el factor $(1 + i)^n$. (Coss Bu, 1999).
Figura 1-20.

Notación estándar	Ecuación	Función en Excel
$F = P(F/P, i, n)$	$F = P(1 + i)^n$	$= FV(i\%, n, P)$

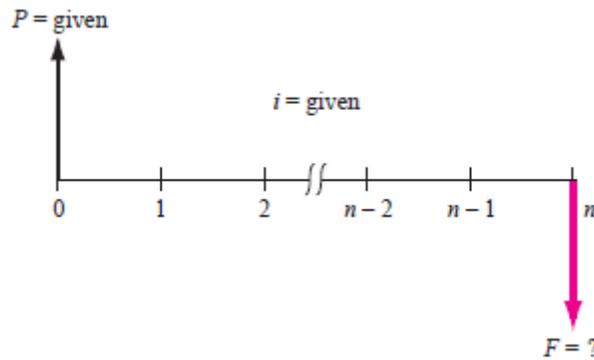


Figura 1-20: Diagrama de flujo de efectivo para el factor de pago único (F dado P). (Tomado: Blank y Tarquin, 2008).

- Factor del valor presente de pago único:

Esta ecuación se utiliza para determinar la cantidad presente P que se tiene que invertir durante n períodos a una tasa de interés i , para acumular una cantidad F . (Thuesen et al, 1986). Figura 1-21.

Notación estándar	Ecuación	Función en Excel
$P = F(P/F, i, n)$	$P = F[1/(1 + i)^n]$	$= PV(i\%, n, F)$

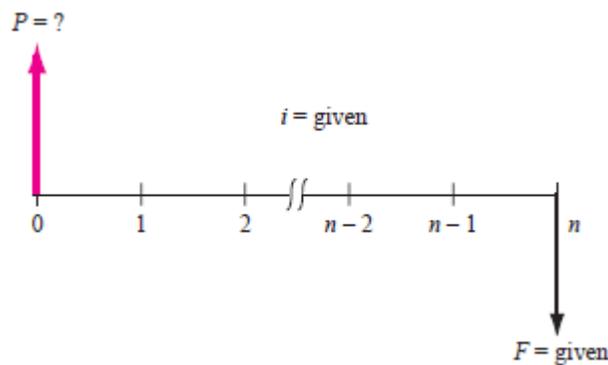


Figura 1-21: Diagrama de flujo de efectivo para el factor del valor presente de pago único (P dado F). (Tomado: Blank y Tarquin, 2008).

- Serie uniforme:

Posiblemente la categoría más familiar sea la que incluye las transacciones dispuestas en una serie de flujo de efectivo iguales a intervalos regulares, conocida como serie de pagos iguales (o serie uniforme). Esto describe, por ejemplo, los flujos de efectivo de un contrato común de préstamo con pagos parciales, en el cual se dispone el pago del préstamo en pagos parciales periódicos e iguales. Las fórmulas de pagos iguales tienen que ver con las relaciones de equivalencia con P , F y A , la cantidad constante de los flujos de efectivo de la serie.

- Factor para una serie de pagos compuestos iguales:

Para determinar la equivalencia en el futuro de una serie uniforme de flujos de efectivo, es necesario introducir una nueva variable, la cual se denota como A . Esta variable representa el flujo neto al final del período, el cual ocurre durante n períodos. Por consiguiente, la cantidad acumulada F al final del año n , se puede obtener al sumar la equivalencia (al final del período n de cada una de las A 's. (Coss Bu, 1999). Figura 1-22.

Notación estándar	Ecuación	Función en Excel
$F = A(F/A, i, n)$	$\frac{(1 + i)^n - 1}{i}$	$= FV(i\%, n, A, P)$

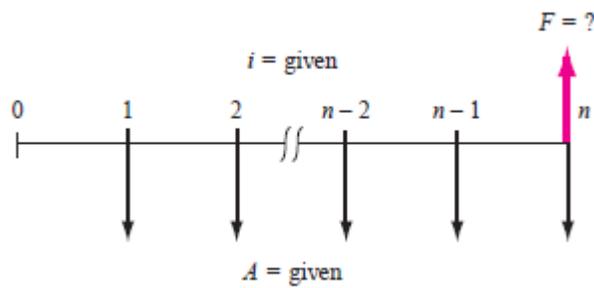


Figura 1-22: Diagrama de flujo para una serie de pagos compuestos iguales (F dado A). (Tomado: Blank y Tarquin, 2008).

- Factor de amortización de una serie uniforme de pagos:

De la expresión para una serie uniforme de pagos se puede despejar el valor de A . Este factor resultante puede emplearse para encontrar los pagos requeridos A , al final de cada año, con los cuales acumular una cantidad futura F . (Thuesen et al, 1986). Figura 1-23.

Notación estándar	Ecuación	Función en Excel
$A = F(A/F, i, n)$	$\frac{i}{(1+i)^n - 1}$	$= PMT(i\%, n, P, F)$

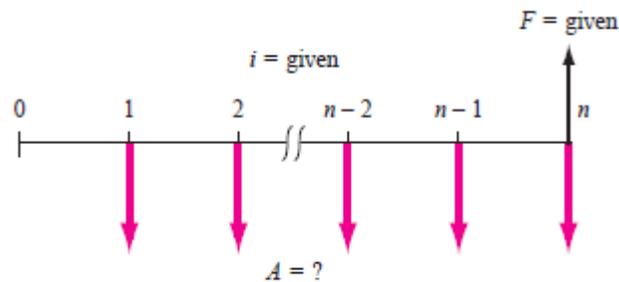


Figura 1-23: Diagrama de flujo para una serie uniforme de pagos (A dado F). (Tomado: Blank y Tarquin, 2008).

- Factor de recuperación de capital para una serie uniforme de pagos:

Este factor puede emplearse para encontrar los pagos A , al final de cada año, que serán generados por una cantidad presente P . (Thuesen et al, 1986). Figura 1-24.

Notación estándar	Ecuación	Función en Excel
$A = P(A/P, i, n)$	$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$	$= PMT(i\%, n, P, F)$

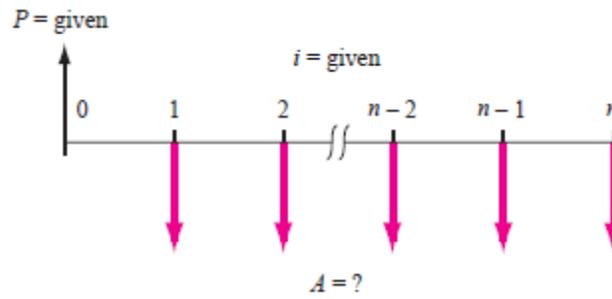


Figura 1-24: Diagrama de flujo para una serie uniforme de pagos (*A* dado *P*). (Tomado: Blank y Tarquin, 2008).

Factor de valor presente para una serie uniforme de pagos:

Este factor puede emplearse para encontrar el valor presente *P*, de una serie de pagos anuales iguales *A*. (Thuesen et al, 1986). Figura 1-25.

Notación estándar	Ecuación	Función en Excel
$P = A(P/A, i, n)$	$\frac{(1 + i)^n - 1}{i(1 + i)^n}$	$= PV(i\%, n, A, F)$

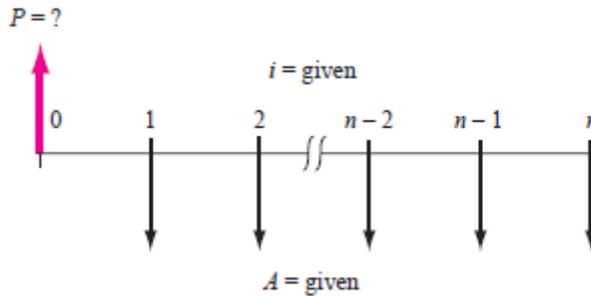


Figura 1-25: Diagrama de flujo para una serie uniforme de pagos (*P* dado *A*). (Tomado: Blank y Tarquin, 2008).

- Bases de comparación de alternativas

Thuesen et al, 1986, afirman que “todos los criterios de decisión implican la existencia de algún índice, medida de equivalencia o base de comparación que resuma las diferencias significativas entre alternativa de inversión. Una base para comparación es un índice que

contiene información específica sobre una serie de ingresos y de desembolsos que representan una oportunidad de inversión. La reducción de alternativas a una base común es indispensable con el fin de que ciertas diferencias apenas aparentes se vuelvan reales al tener en cuenta el efecto del tiempo sobre el valor de la moneda. Las diferencias reales, una vez expresadas en términos de una base común, se tornan comparables directamente y pueden emplearse entonces en el proceso de toma de decisiones”

Las bases de comparación más comunes son el valor presente neto, valor anual neto, el valor futuro neto, la tasa interna de retorno, y el período de recuperación o de pago de inversión.

Por simplicidad para la evaluación de la herramienta propuesta se tendrán en cuenta dos bases de comparación, el valor presente neto y la tasa interna de retorno.

- Valor Presente Neto (VPN)

Baca, 1994, dice que “el valor presente simplemente significa traer del futuro al presente cantidades monetarias a su valor equivalente. En términos formales de evaluación económica, cuando se trasladan cantidades del presente al futuro, se dice que se utiliza una tasa de interés, pero cuando se trasladan cantidades del futuro al presente, como en el cálculo del *VPN*, se dice que se utiliza una tasa de descuento debido a lo cual a los flujos de efectivo ya trasladados al presente se les llama flujos descontados”.

Según Thuesen et al, 1986, “el *VPN* es una cantidad en el momento actual ($t = 0$) que es equivalente al flujo neto de efectivo de una inversión a una tasa específica de interés i . El valor presente neto de la propuesta de inversión, a una tasa de interés i , con una vida de n años puede expresarse como”

$$VPN = -W + FNE_1(P/F, i\%, 1) + \dots + FNE_n(P/F, i\%, n)$$

Donde:

$FNE_n =$ Flujo neto de efectivo del año n , que corresponde a la ganancia neta después de impuestos en el año n .

$W =$ Inversión inicial en el año cero.
 $i =$ Tasa de referencia que corresponde a la **TMAR**.

Sapag, 1993, explica que, “es claro que el inversionista espera que las ganancias superen, o al menos igualen, a la inversión original. Si el resultado del **VPN** es positivo, significará que habrá ganancia más allá de haber recuperado el dinero invertido, o en otras palabras es la cantidad que gana más por sobre lo que quería ganar, y por lo tanto se deberá aceptar la inversión.

Si el **VPN** es negativo, significará que las ganancias no son suficientes para recuperar el dinero invertido, no indica pérdida, sino cuánto faltó para que el inversionista ganara todo lo que quería ganar, si este es el resultado, debe rechazarse la inversión.

Si el **VPN** es igual a cero, significará que sólo se ha recuperado la **TMAR** o el inversionista gana justo lo que quería ganar, y por tanto, debe aceptarse la inversión”.

- Tasa Interna de Retorno o de Rendimiento (TIR)

Infante, 1997, expone:” uno de los indicadores que tiene más aceptación es la rentabilidad, pero para llegar a él no siempre se sigue el camino más adecuado y frecuentemente se calcula de manera errónea por los inversionistas”.

El resultado del método del valor presente neto depende de la tasa de interés que se usa para calcularlo. En particular, el **VPN** igual a cero evidencia que los flujos netos de efectivo del proyecto ganan un interés idéntico a la tasa de descuento utilizada en los cálculos. Por ejemplo, con una tasa de descuento del 15%, el **VPN = 0**, los flujos netos de efectivo gana un 15% de interés.

En consecuencia, la tasa de interés que produce un **VPN** igual a cero es una medida de rentabilidad adecuada. Como se trata de interés que gana el dinero invertido en el proyecto, se le da el nombre de tasa de retorno, o simplemente **TIR**.

$$VPN = -W + \sum_{n=1}^n \frac{FNE_n}{(1 + TIR)^n} = 0$$

2.Herramienta en Microsoft Excel®

Se realiza una herramienta para evaluar los procesos de manufactura de aluminio, ya que se pretende con esta verificar la viabilidad ambiental y económica de los mismos, teniendo en cuenta que el consumo de energía es elevado y que se busca hacer una reducción significativa que concluya con un enfoque de sostenibilidad, por ser el aluminio un material reciclable.

2.1 Desarrollo de la herramienta en Microsoft Excel® del modelo económico y el modelo ambiental de procesos de manufactura de productos de aluminio.

La Herramienta se trabaja en inglés, para darle globalidad a su utilización y que sea amigable como objeto de consulta y análisis, además se puede realizar la ampliación de la misma con los requerimientos establecidos en cuanto a las necesidades de la industria manufacturera de Aluminio.

El desarrollo de la Herramienta consiste en realizar aplicaciones en Microsoft Excel®, un software de tipo hoja de cálculo que permite realizar operaciones con números organizados en una cuadrícula. Se construyeron macros y se realizaron los cálculos teniendo en cuenta el Modelo Económico y el Modelo Ambiental antes descritos, continuando con la estructura Figura 2-1, y diligenciando datos que puedan probar su funcionamiento.

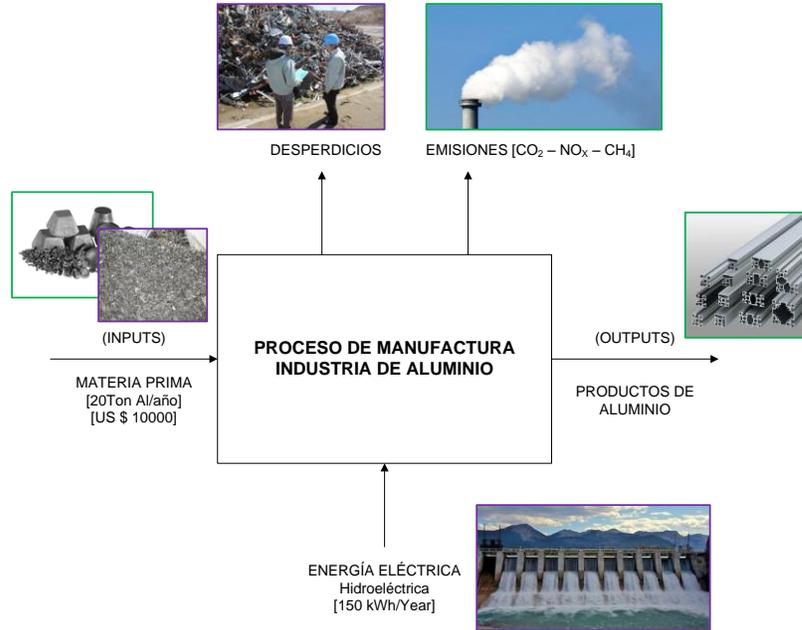


Figura 2-1: Diagrama de flujo del Proceso de Manufactura de Productos de Aluminio.

Este modelo se puede utilizar para observar diferentes aspectos de la sostenibilidad. Estos incluyen la energía, el agua, los residuos, los productos químicos y los materiales utilizados. Las entradas relacionadas con cada uno de ellos se resumen en la Figura 2-2. Un usuario puede evaluar los proyectos, procesos de fabricación, estrategias de gestión o de otras actividades relacionadas con cada uno de ellos por separado o en combinación.

La sostenibilidad se aborda de manera más eficaz cuando se toma todo un sistema y un enfoque de ciclo de vida, se sugiere abordar de entrada y salida varias categorías al mismo tiempo.

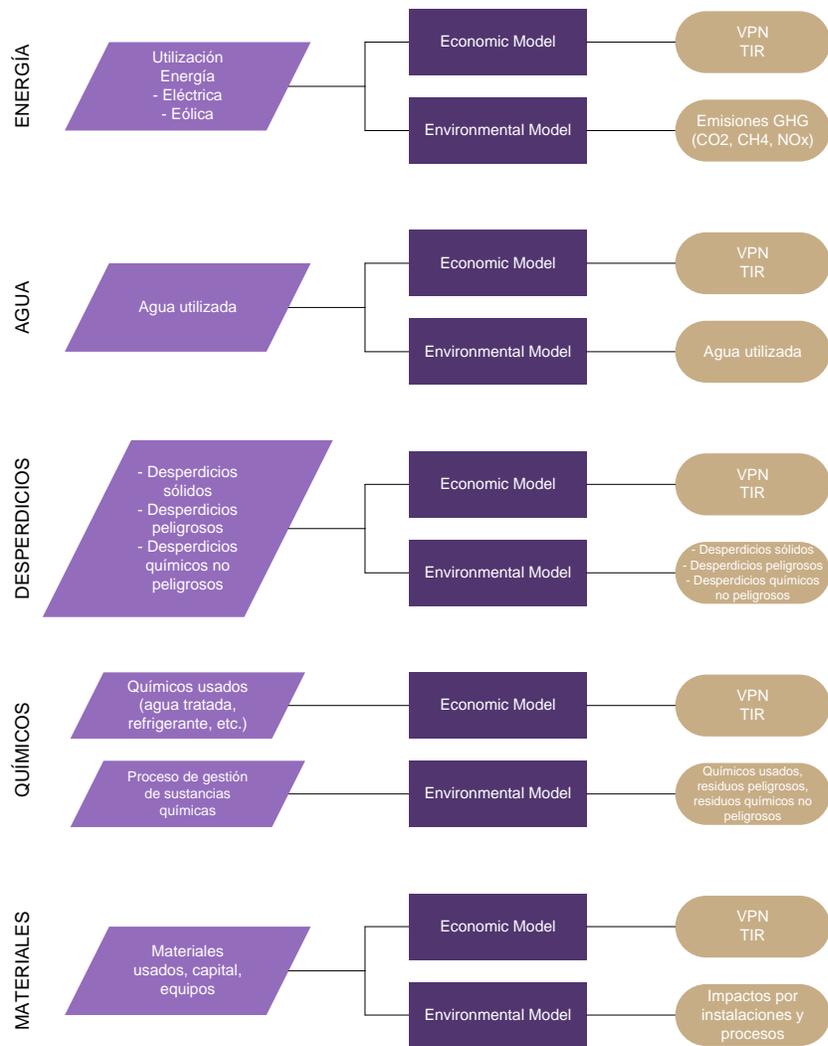
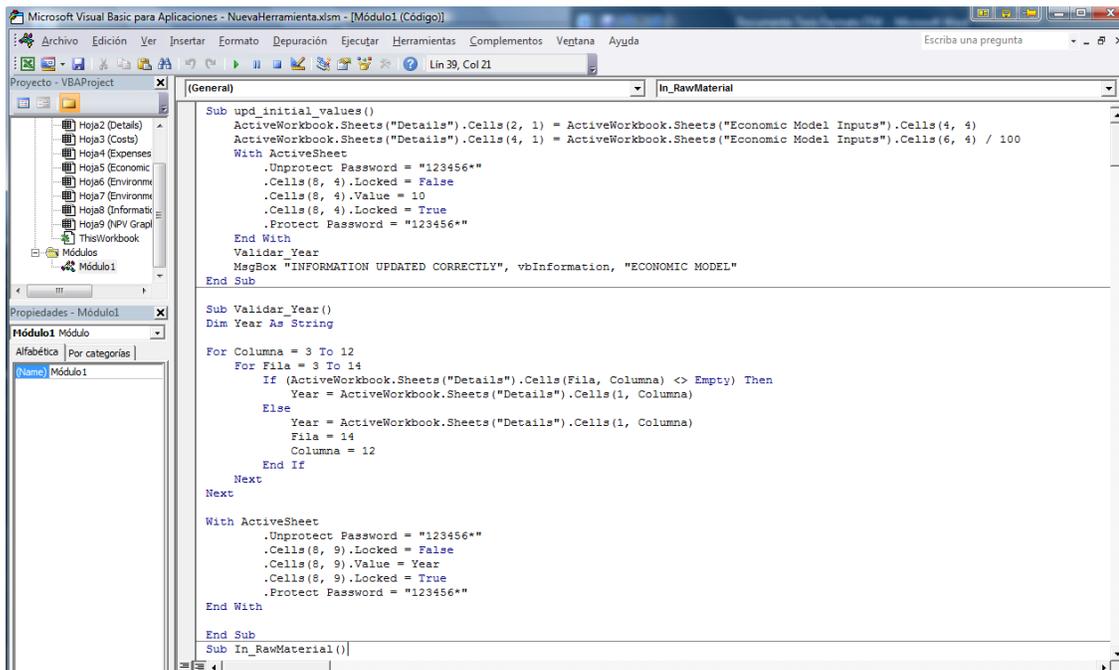


Figura 2-2: Diagrama de Sostenibilidad Organizado para Modelo Económico y Modelo Ambiental.

2.1.1 Modelo Económico.

Para el desarrollo de la herramienta, se utilizó *Visual Basic (6.0) for application*, como se puede ver en la

Figura 2-3, que se encuentra integrado a Excel, se utilizaron las fórmulas implícitas para el cálculo del VPN y la TIR; además se utilizaron fórmulas de operaciones básicas, como (SUM,*).



```
Microsoft Visual Basic para Aplicaciones - NuevaHerramienta.xlsm - [Módulo1 (Código)]
Archivo Edición Ver Insertar Formato Depuración Ejecutar Herramientas Complementos Ventana Ayuda
Escriba una pregunta
Proyecto - VBAProject
[General]
In_RawMaterial
Sub upd_initial_values()
ActiveWorkbook.Sheets("Details").Cells(2, 1) = ActiveWorkbook.Sheets("Economic Model Inputs").Cells(4, 4)
ActiveWorkbook.Sheets("Details").Cells(4, 1) = ActiveWorkbook.Sheets("Economic Model Inputs").Cells(6, 4) / 100
With ActiveSheet
.Unprotect Password = "123456*"
.Cells(8, 4).Locked = False
.Cells(8, 4).Value = 10
.Cells(8, 4).Locked = True
.Protect Password = "123456*"
End With
Validar_Year
MsgBox "INFORMATION UPDATED CORRECTLY", vbInformation, "ECONOMIC MODEL"
End Sub
Sub Validar_Year()
Dim Year As String
For Columna = 3 To 12
For Fila = 3 To 14
If (ActiveWorkbook.Sheets("Details").Cells(Fila, Columna) <> Empty) Then
Year = ActiveWorkbook.Sheets("Details").Cells(1, Columna)
Else
Year = ActiveWorkbook.Sheets("Details").Cells(1, Columna)
Fila = 14
Columna = 12
End If
Next
Next
With ActiveSheet
.Unprotect Password = "123456*"
.Cells(8, 9).Locked = False
.Cells(8, 9).Value = Year
.Cells(8, 9).Locked = True
.Protect Password = "123456*"
End With
End Sub
Sub In_RawMaterial()
```

Figura 2-3: Macro de Visual Basic en Microsoft Excel®

- Pestaña principal: *“Economic Model Inputs”*

La pestaña inicial *“Economic Model Inputs”* Figura 2-4, permite realizar la inserción de los valores en la pestaña *“Details”*, en la cual se almacenan los valores correspondientes por año.

The screenshot shows a web form titled "COMPANY OF ALUMINIUM". It is organized into several sections:

- INITIAL INVESTMENT OF THE CAPITAL (\$):** A text input field followed by an "Update" button.
- RATE OF INTEREST (%):** A text input field.
- TIME (YEARS):** A text input field, with "YEAR 1" displayed to its right.
- COSTS:** A section header followed by three sub-sections:
 - DIRECT COSTS:** Includes "DIRECT RAW MATERIAL" and "DIRECT MANPOWER (OPERATIVES)". Each has a table with columns for "DESCRIPTION", "UNITARY VALUE", "QUANTITY", and "SUBTOTAL".
 - INDIRECT COSTS:** Includes "MAINTENANCE OF MACHINERY AND EQUIPMENT" and "LEASE". Each has a table with columns for "DESCRIPTION", "MONTHLY COST", "QUANTITY", and "ANNUAL COST".
- EXPENSES:** Includes "PERSONAL" and "PUBLIC SERVICES". Each has a table with columns for "DESCRIPTION", "UNITARY SALARY", "QUANTITY", and "SUBTOTAL".
- ANNUAL SALES:** A text input field.

Figura 2-4: Formulario de entrada de datos *“Economic model inputs”*

Para el diligenciamiento del formulario, es necesario seguir los siguientes pasos:

- Paso 1. Figura 2-5.
 - Llenar el encabezado del formulario y presionar el botón Update.
 - Inversión inicial (\$).
 - Tasa de Interés (%).
 - Tiempo en años, la herramienta está diseñada para realizar el cálculo a 10 años, por lo cual este valor no se modifica.
 - Año 1. Indica el año que se está diligenciando, se actualiza automáticamente cuando se diligencias los campos del formulario.
 - Al oprimir el botón Update, se almacena la inversión inicial y la tasa de interés en la pestaña *“Details”*.

Figura 2-5: Encabezado del formulario.

- Paso 2. Figura 2-6.

Diligenciar los costos de la compañía.

- Diligenciar los campos de Descripción, Valor Unitario y Cantidad para las Materias Primas.
- SUBTOTAL, valor calculado automáticamente (Unitary Value * Quantity).
- Clic en el botón Add para agregar los valores a la pestaña “Costs” y a su vez sumarlo en el campo destinado para Materia Prima de la pestaña “Details”.
- Diligenciar los campos de Descripción, Salario Unitario y Cantidad para los Operarios (Mano de Obra Directa).
- Diligenciar los campos de Descripción, Costo Mensual y Cantidad de Máquinas para el Mantenimiento de la Maquinaria.
- ANNUAL COST (Monthly Cost*Quantity), valor calculado automáticamente.
- Llenar el campo Costo Anual de Arrendamiento.

Figura 2-6: Costos de la compañía.

- Paso 3: Figura 2-7.
Diligenciar los gastos de la compañía.
- Diligenciar los campos (del cargo), Salario Unitario y Cantidad de empleados en este cargo.
- SUBTOTAL (Unitary Salary*Quantity), campo calculado automáticamente.
- Clic en el botón Add para agregar la información correspondiente al salario del personal, esta quedará consignada en la pestaña “Expenses” y a su vez queda registrada en la pestaña “Details”.
- PUBLIC SERVICES, seleccionar un servicio público y llenar el gasto mensual.
- ANNUAL EXPENSES (Mensual Expenses*12), campo calculado automáticamente.

Figura 2-7: Gastos de la compañía.

- Paso 4. Figura 2-8.
Diligenciar las ventas de la compañía.
- Diligenciar las Ventas Anuales (para cada año).
- Clic en el botón Add, la información quedará almacenada en la pestaña “Details”.

Figura 2-8: Ventas de la compañía.

NOTA: Se deben realizar los anteriores pasos para cada uno de los diez años.

Luego de llenar la información en el formulario, ésta quedará consignada en la pestaña “*Details*”, la cual se muestra en la siguiente Figura 2-9.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	COSTS AND EXPENSES	YEAR 1	YEAR 2	YEAR 3	YEAR 4	YEAR 5	YEAR 6	YEAR 7	YEAR 8	YEAR 9	YEAR 10
2	DIRECT COSTS										
3	DIRECT RAW MATERIAL										
4	DIRECT MANPOWER										
5	INDIRECT COSTS										
6	MAINTENANCE OF MACHINERY AND LEASE										
7	EXPENSES										
8	PERSONAL										
9	PUBLIC SERVICES										
10	WATER										
11	TELEPHONY										
12	ENERGY										
13	ELECTRICAL ENERGY										
14	WIND ENERGY										
15	ANNUAL SALES										

Figura 2-9: Pestaña “*Details*”

Para visualizar los cálculos de VPN y TIR, se debe ubicar en la pestaña “*Economic Model Outputs*”, estos valores se llenan automáticamente, de acuerdo a los valores ingresados anteriormente en “*Economic Model Inputs*”. Figura 2-10.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	VPN AND TIR											
2	YEAR	INITIAL INVESTMENT	YEAR 1	YEAR 2	YEAR 3	YEAR 4	YEAR 5	YEAR 6	YEAR 7	YEAR 8	YEAR 9	YEAR 10
3	FLows ELECTRICAL ENERGY											
4	FLows WIND ENERGY											
5	FLows SALES											
6	TOTAL FLows ELECTRICAL ENERGY											
7	TOTAL FLows WIND ENERGY											
8												
9	RATE OF INTEREST											
10												
11												
12	NET PRESENT VALUE WITH ELECTRICAL ENERGY	NET PRESENT VALUE WITH WIND ENERGY	TIR WITH ELECTRICAL ENERGY	TIR WITH WIND ENERGY								
13												
12	NET PRESENT VALUE WITH ELECTRICAL ENERGY	NET PRESENT VALUE WITH WIND ENERGY	TIR WITH ELECTRICAL ENERGY	TIR WITH WIND ENERGY								
13												

Figura 2-10: Pestaña “*Economic Model Outputs*”

2.1.2 Modelo Ambiental.

Para diligenciar la información necesaria para el cálculo de las emisiones, se realiza la ubicación en la pestaña “*Enviromental Model Inputs*”. Figura 2-11.

	A	B	C	D	E	F
1	ENVIRONMENTAL MODEL				FACTORS	
2					CO2	
3	CONSUMPTION	ELECTRICAL ENERGY	WIND ENERGY			FACTOR
4	UNIT	kWh/Year	kWh/Year		ELECTRICAL ENERGY	
5	Year 1				KgCO2/kWh	
6	Year 2				WIND ENERGY	
7	Year 3				KgCO2/kWh	
8	Year 4				CH4	
9	Year 5				ELECTRICAL ENERGY	
10	Year 6				KgCH4/kWh	
11	Year 7				N2O	
12	Year 8				ELECTRICAL ENERGY	
13	Year 9				KgN2O/kWh	
14	Year 10					

Figura 2-11: Pestaña “*Enviromental Model Inputs*”

- Llenar los campos para ELECTRICAL ENERGY y WIND ENERGY, ubicar los factores de emisión correspondientes a la zona donde se encuentra la compañía ubicada geográficamente, para Energía Eléctrica y para Energía Eólica.

Luego de llenar la información, se podrá visualizar el resultado de las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O producidas por Energía Eléctrica y de CO₂ producidas por Energía Eólica. “*Enviromental Model Ouputs*”. Figura 2-12.

	A	B	C	D	E
1	EMISSIONS				
2	CO2	CH4	N2O	CO2eq	CO2eq
3	ELECTRICAL ENERGY	ELECTRICAL ENERGY	ELECTRICAL ENERGY	ELECTRICAL ENERGY	WIND ENERGY
4	kgCO2/Year	kgCH4/Year	kgN2O/Year	kgCO2eq/Year	kgCO2eq/Year
5	0	0	0		0
6	0	0	0		0
7	0	0	0		0
8	0	0	0		0
9	0	0	0		0
10	0	0	0		0
11	0	0	0		0
12	0	0	0		0
13	0	0	0		0
14	0	0	0		0

Figura 2-12: Pestaña “*Enviromental Model Ouputs*”

Se toma CO₂eq emitido por la Energía Eólica y se calcula el CO₂eq para la Energía Eléctrica, así se puede encontrar el GHG para ambas fuentes de energía y comparar.

2.2 Validación de la herramienta en Microsoft Excel® del modelo económico y el modelo ambiental de procesos de manufactura de productos de aluminio.

Para obtener resultados coherentes que demuestren que el trabajo realizado funciona adecuadamente se utilizaron algunos datos del dominio público y otros simplemente se supusieron.

- Pantalla Principal “Economic Model Inputs”
 - Pestaña Inicial “Economic Model Inputs” permite realizar la inserción de los valores en la pestaña “Details”, en la cual se almacenan los valores correspondientes por año. Figura 2-13.

COMPANY OF ALUMINIUM				
INITIAL INVESTMENT OF THE CAPITAL	185000			Update
RATE OF INTEREST (%):	0.8			
TIME (YEARS):	10		YEAR 10	
COSTS				
DIRECT COSTS				
DIRECT RAW MATERIAL				
DESCRIPTION	UNITARY VALUE	QUANTITY	SUBTOTAL	
BALMITA	2100	2	4200 Add	
DIRECT MANPOWER (OPERATIVES)				
DESCRIPTION	UNITARY SALARY	QUANTITY	SUBTOTAL	
OPERARIO DE INYECCIÓN	2350	2	4700 Add	
INDIRECT COSTS				
MAINTENANCE OF MACHINERY AND EQUIPMENT				
DESCRIPTION	MONTHLY COST	QUANTITY	ANNUAL COST	
CARRETELLAS	400	1	400 Add	
LEASE			Add	
ANNUAL COST	3000			
EXPENSES				
PERSONAL				
DESCRIPTION	UNITARY SALARY	QUANTITY	SUBTOTAL	
ANALISTA DE NÓMINA	1250	1	1250 Add	
PUBLIC SERVICES:				
DESCRIPTION	MONTHLY EXPENSE	ANNUAL EXPENSE		
WIND ENERGY	2450	29400 Add		
ANNUAL SALES	220000		Add	

Figura 2-13: Validación “Economic Model Inputs”

Se propone el siguiente caso con datos supuestos (valores en US \$), además se trabaja con una cantidad de Aluminio producido bajo para estimación y agilidad.

Tabla 2-1, para validar el funcionamiento de la herramienta y a su vez poder dar conclusiones sobre las alternativas, Energía Eléctrica (no renovable) y Energía Eólica (renovable).

Alternativas (ANUAL)	Inversión inicial	Costos (ANUAL)	Gastos (ANUAL)	Ventas (ANUAL)	Consumo Emisiones (ANUAL)
Energía Eléctrica	\$185000	Materia Prima: \$10000	Personal: \$5000	\$220000	Energía Eléctrica
\$20500	Tasa de interés	Mano de obra directa: \$20200	Servicios públicos: Telefonía: \$12600 Agua: \$17400		150 kWh
Energía Eólica	0,6%	Mantenimiento: \$3500			Energía Eólica
\$29500	Vida Años	Arrendamiento: \$3000			150 kWh
	10				Producción
					20 Ton Al

Tabla 2-1: Datos caso de estudio para validación.

La siguiente tabla, Tabla 2-2, contiene la distribución de los ítems agregados desde la herramienta.

TIPO	DESCRIPCIÓN	VALOR
MANO DE OBRA	OPERARIO DE PLANTA	1600
	OPERARIO DE FUNDICIÓN	1300
	OPERARIO DE CORTE	1100
	OPERARIO DE INYECCIÓN	2350
MATERIA PRIMA	PASTILLAS DE CLORO	1450
	CAOLÍN	275
	CHATARRA DE ALUMINIO	950
	BAUXITA	2100
MANTENIMIENTO DE EQUIPOS	HORNO DE CRISOL	600
	CUCHARAS	400
	LINGOTERAS	400
	MOLDES DE BARRAS	600
	ESPECTROFOTÓMETRO DE EMISIÓN ÓPTICA	600
	BÁSCULA INDUSTRIAL	500
	CARRETILLAS	400
PERSONAL	JEFE DE VENTAS	2500
	AUXILIAR DE OFICINA	750
	AUXILIAR DE SERVICIOS VARIOS	500
	ANALISTA DE NÓMINA	1250

Tabla 2-2: Descripción de valores resultantes de la herramienta.

NOTA: Para este caso en cada año los valores serán fijos, pero la herramienta permite realizar el ingreso variable para cada año.

Al realizar el registro de información desde la herramienta en Excel, se pueden visualizar los siguientes resultados:

- Pestaña “Details”. Figura 2-14.

	A	B	C	D	E	F	G
1	INITIAL INVESTMENT OF THE CAPITAL	COSTS AND EXPENSES	YEAR 1	YEAR 2	YEAR 3	YEAR 4	YEAR 5
2	\$ 185.000,00	DIRECT COSTS					
3	RATE OF INTEREST	DIRECT RAW MATERIAL	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00
4	0,006	DIRECT MANPOWER	\$ 20.200,00	\$ 20.200,00	\$ 20.200,00	\$ 20.200,00	\$ 20.200,00
5		INDIRECT COSTS					
6		MAINTENANCE OF MACHINERY AND	\$ 3.500,00	\$ 3.500,00	\$ 3.500,00	\$ 3.500,00	\$ 3.500,00
7		LEASE	\$ 3.000,00	\$ 3.000,00	\$ 3.000,00	\$ 3.000,00	\$ 3.000,00
8		EXPENSES					
9		PERSONAL	\$ 5.000,00	\$ 5.000,00	\$ 5.000,00	\$ 5.000,00	\$ 5.000,00
10		PUBLIC SERVICES					
11		WATER	\$ 17.400,00	\$ 17.400,00	\$ 17.400,00	\$ 17.400,00	\$ 17.400,00
12		TELEPHONY	\$ 12.600,00	\$ 12.600,00	\$ 12.600,00	\$ 12.600,00	\$ 12.600,00
13		ENERGY					
14		ELECTRICAL ENERGY	\$ 20.400,00	\$ 20.400,00	\$ 20.400,00	\$ 20.400,00	\$ 20.400,00
15		WIND ENERGY	\$ 29.400,00	\$ 29.400,00	\$ 29.400,00	\$ 29.400,00	\$ 29.400,00
16		ANNUAL SALES	\$ 220.000,00	\$ 220.000,00	\$ 220.000,00	\$ 220.000,00	\$ 220.000,00

Figura 2-14: Resultados pestaña “Details”

- Pestaña “Costs”. Figura 2-15.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	COSTS														
2	DIRECT RAW MATERIAL					DIRECT MANPOWER					MAINTENANCE OF MACHINERY AND EQUIPMENT				
3	YEAR	DESCRIPTION	UNITARY PRICE	QUANTITY	SUBTOTAL	YEAR	DESCRIPTION	UNITARY PRICE	QUANTITY	SUBTOTAL	YEAR	DESCRIPTION	MONTHLY COST	QUANTITY	ANNUAL COST
4	YEAR 1	PASTILLAS DE CLORO	1450	1	1450	YEAR 1	OPERARIO DE PLANTA	1600	3	4800	YEAR 1	HORNO DE CRISOL	600	1	600
5	YEAR 1	CAOLIN	275	2	550	YEAR 1	OPERARIO DE FUNDIC	1300	4	5200	YEAR 1	CUCHARAS	400	1	400
6	YEAR 1	CHATARRA DE ALUMI	950	4	3800	YEAR 1	OPERARIO DE CORTE	1100	5	5500	YEAR 1	LINGOTERAS	400	1	400
7	YEAR 1	BAUXITA	2100	2	4200	YEAR 1	OPERARIO DE INVECC	2350	2	4700	YEAR 1	MOLDES DE BARRAS	600	1	600
8	YEAR 2	PASTILLAS DE CLORO	1450	1	1450	YEAR 2	OPERARIO DE PLANTA	1600	3	4800	YEAR 1	ESPECTROFOTOMETRO DE EMIS	600	1	600
9	YEAR 2	CAOLIN	275	2	550	YEAR 2	OPERARIO DE FUNDIC	1300	4	5200	YEAR 1	BÁSCULA INDUSTRIAL	500	1	500
10	YEAR 2	CHATARRA DE ALUMI	950	4	3800	YEAR 2	OPERARIO DE CORTE	1100	5	5500	YEAR 1	CARRETTILLAS	400	1	400
11	YEAR 2	BAUXITA	2100	2	4200	YEAR 2	OPERARIO DE INVECC	2350	2	4700	YEAR 2	HORNO DE CRISOL	600	1	600
12	YEAR 3	PASTILLAS DE CLORO	1450	1	1450	YEAR 3	OPERARIO DE PLANTA	1600	3	4800	YEAR 2	CUCHARAS	400	1	400
13	YEAR 3	CAOLIN	275	2	550	YEAR 3	OPERARIO DE FUNDIC	1300	4	5200	YEAR 2	LINGOTERAS	400	1	400
14	YEAR 3	CHATARRA DE ALUMI	950	4	3800	YEAR 3	OPERARIO DE CORTE	1100	5	5500	YEAR 2	MOLDES DE BARRAS	600	1	600
15	YEAR 3	BAUXITA	2100	2	4200	YEAR 3	OPERARIO DE INVECC	2350	2	4700	YEAR 2	ESPECTROFOTOMETRO DE EMIS	600	1	600
16	YEAR 4	PASTILLAS DE CLORO	1450	1	1450	YEAR 4	OPERARIO DE PLANTA	1600	3	4800	YEAR 2	BÁSCULA INDUSTRIAL	500	1	500
17	YEAR 4	CAOLIN	275	2	550	YEAR 4	OPERARIO DE FUNDIC	1300	4	5200	YEAR 2	CARRETTILLAS	400	1	400
18	YEAR 4	CHATARRA DE ALUMI	950	4	3800	YEAR 4	OPERARIO DE CORTE	1100	5	5500	YEAR 3	HORNO DE CRISOL	600	1	600
19	YEAR 4	BAUXITA	2100	2	4200	YEAR 4	OPERARIO DE INVECC	2350	2	4700	YEAR 3	CUCHARAS	400	1	400
20	YEAR 5	PASTILLAS DE CLORO	1450	1	1450	YEAR 5	OPERARIO DE PLANTA	1600	3	4800	YEAR 3	LINGOTERAS	400	1	400
21	YEAR 5	CAOLIN	275	2	550	YEAR 5	OPERARIO DE FUNDIC	1300	4	5200	YEAR 3	MOLDES DE BARRAS	600	1	600
22	YEAR 5	CHATARRA DE ALUMI	950	4	3800	YEAR 5	OPERARIO DE CORTE	1100	5	5500	YEAR 3	ESPECTROFOTOMETRO DE EMIS	600	1	600
23	YEAR 5	BAUXITA	2100	2	4200	YEAR 5	OPERARIO DE INVECC	2350	2	4700	YEAR 3	BÁSCULA INDUSTRIAL	500	1	500
24	YEAR 6	PASTILLAS DE CLORO	1450	1	1450	YEAR 6	OPERARIO DE PLANTA	1600	3	4800	YEAR 3	CARRETTILLAS	400	1	400
25	YEAR 6	CAOLIN	275	2	550	YEAR 6	OPERARIO DE FUNDIC	1300	4	5200	YEAR 4	HORNO DE CRISOL	600	1	600
26	YEAR 6	CHATARRA DE ALUMI	950	4	3800	YEAR 6	OPERARIO DE CORTE	1100	5	5500	YEAR 4	CUCHARAS	400	1	400
27	YEAR 6	BAUXITA	2100	2	4200	YEAR 6	OPERARIO DE INVECC	2350	2	4700	YEAR 4	LINGOTERAS	400	1	400
28	YEAR 7	PASTILLAS DE CLORO	1450	1	1450	YEAR 7	OPERARIO DE PLANTA	1600	3	4800	YEAR 4	MOLDES DE BARRAS	600	1	600
29	YEAR 7	CAOLIN	275	2	550	YEAR 7	OPERARIO DE FUNDIC	1300	4	5200	YEAR 4	ESPECTROFOTOMETRO DE EMIS	600	1	600
30	YEAR 7	CHATARRA DE ALUMI	950	4	3800	YEAR 7	OPERARIO DE CORTE	1100	5	5500	YEAR 4	BÁSCULA INDUSTRIAL	500	1	500
31	YEAR 7	BAUXITA	2100	2	4200	YEAR 7	OPERARIO DE INVECC	2350	2	4700	YEAR 4	CARRETTILLAS	400	1	400

Figura 2-15: Resultados pestaña “Costs”

- Pestaña “Expenses”. Figura 2-16.

	A	B	C	D	E
1	EXPENSES				
2	PERSONAL				
3	YEAR	DESCRIPTION	UNITARY SALARY	QUANTITY	SUBTOTAL
4	YEAR 1	JEFE DE VENTAS	2500	1	2500
5	YEAR 1	AUXILIAR DE OFICINA	750	1	750
6	YEAR 1	AUXILIAR DE SERVICIOS VARIOS	500	1	500
7	YEAR 1	ANALISTA DE NÓMINA	1250	1	1250
8	YEAR 2	JEFE DE VENTAS	2500	1	2500
9	YEAR 2	AUXILIAR DE OFICINA	750	1	750
10	YEAR 2	AUXILIAR DE SERVICIOS VARIOS	500	1	500
11	YEAR 2	ANALISTA DE NÓMINA	1250	1	1250
12	YEAR 3	JEFE DE VENTAS	2500	1	2500
13	YEAR 3	AUXILIAR DE OFICINA	750	1	750
14	YEAR 3	AUXILIAR DE SERVICIOS VARIOS	500	1	500
15	YEAR 3	ANALISTA DE NÓMINA	1250	1	1250
16	YEAR 4	JEFE DE VENTAS	2500	1	2500
17	YEAR 4	AUXILIAR DE OFICINA	750	1	750
18	YEAR 4	AUXILIAR DE SERVICIOS VARIOS	500	1	500
19	YEAR 4	ANALISTA DE NÓMINA	1250	1	1250
20	YEAR 5	JEFE DE VENTAS	2500	1	2500
21	YEAR 5	AUXILIAR DE OFICINA	750	1	750
22	YEAR 5	AUXILIAR DE SERVICIOS VARIOS	500	1	500
23	YEAR 5	ANALISTA DE NÓMINA	1250	1	1250

Figura 2-16: Resultados pestaña “Expenses”

- Pestaña “Economic Model Outpus”. Figura 2-17.

	A	B	C	D	E	F	G
1	VPN AND TIR						
2	YEAR	INITIAL INVESTMENT	YEAR 1	YEAR 2	YEAR 3	YEAR 4	YEAR 5
3	FLAWS ELECTRICAL ENERGY	\$ (185.000,00)	\$ 92.100,00	\$ 92.100,00	\$ 92.100,00	\$ 92.100,00	\$ 92.100,00
4	FLAWS WIND ENERGY	\$ (185.000,00)	\$ 101.100,00	\$ 101.100,00	\$ 101.100,00	\$ 101.100,00	\$ 101.100,00
5	FLAWS SALES	\$ (185.000,00)	\$ 220.000,00	\$ 220.000,00	\$ 220.000,00	\$ 220.000,00	\$ 220.000,00
6	TOTAL FLOWS ELECTRICAL ENERGY	\$ (185.000,00)	\$ 127.900,00	\$ 127.900,00	\$ 127.900,00	\$ 127.900,00	\$ 127.900,00
7	TOTAL FLOWS WIND ENERGY	\$ (185.000,00)	\$ 118.900,00	\$ 118.900,00	\$ 118.900,00	\$ 118.900,00	\$ 118.900,00
8							
9	RATE OF INTEREST						
10	0,006						
11							
12	NET PRESENT VALUE WITH ELECTRICAL ENERGY	NET PRESENT VALUE WITH WIND ENERGY	TIR WITH ELECTRICAL ENERGY	TIR WITH WIND ENERGY			
13	\$1.052.786,5	\$965.686,6	68,8%	63,8%			

Figura 2-17: Resultados pestaña “Economic Model Outpus”

– Pestaña “*Enviromental Model Inputs*”. Figura 2-18.

ENVIRONMENTAL MODEL			FACTORS	
			CO2	
CONSUMPTION	ELECTRICAL ENERGY	WIND ENERGY		FACTOR
UNIT	kWh/Year	kWh/Year	ELECTRICAL ENERGY KgCO2/kWh	417,81096
Year 1	150	150	WIND ENERGY KgCO2/kWh	0,015
Year 2	150	150	CH4	
Year 3	150	150	ELECTRICAL ENERGY KgCH4/kWh	0,01
Year 4	150	150	N2O	
Year 5	150	150	ELECTRICAL ENERGY KgN2O/kWh	0,0064
Year 6	150	150		
Year 7	150	150		
Year 8	150	150		
Year 9	150	150		
Year 10	150	150		

Figura 2-18: Datos en pestaña “*Enviromental Model Inputs*”

– Pestaña “*Enviromental Model Outputs*”. Figura 2-19.

EMISSIONS				
CO2	CH4	N2O	CO2eq	CO2eq
ELECTRICAL ENERGY	ELECTRICAL ENERGY	ELECTRICAL ENERGY	ELECTRICAL ENERGY	WIND ENERGY
kgCO2/Year	kgCH4/Year	kgN2O/Year	kgCO2eq/Year	kgCO2eq/Year
62671,644	1,49688	0,95256	62998,37208	2,25
62671,644	1,49688	0,95256	62998,37208	2,25
62671,644	1,49688	0,95256	62998,37208	2,25
62671,644	1,49688	0,95256	62998,37208	2,25
62671,644	1,49688	0,95256	62998,37208	2,25
62671,644	1,49688	0,95256	62998,37208	2,25
62671,644	1,49688	0,95256	62998,37208	2,25
62671,644	1,49688	0,95256	62998,37208	2,25
62671,644	1,49688	0,95256	62998,37208	2,25
62671,644	1,49688	0,95256	62998,37208	2,25

Figura 2-19: Datos en pestaña “*Enviromental Model Outputs*”

- Las Pestañas “NPV Graph”, Figura 2-20, “IRR – TIR Graph”, Figura 2-21, y “CO₂eq Graph”, Figura 2-22, contienen los datos calculados desde la herramienta por medio de gráficas:

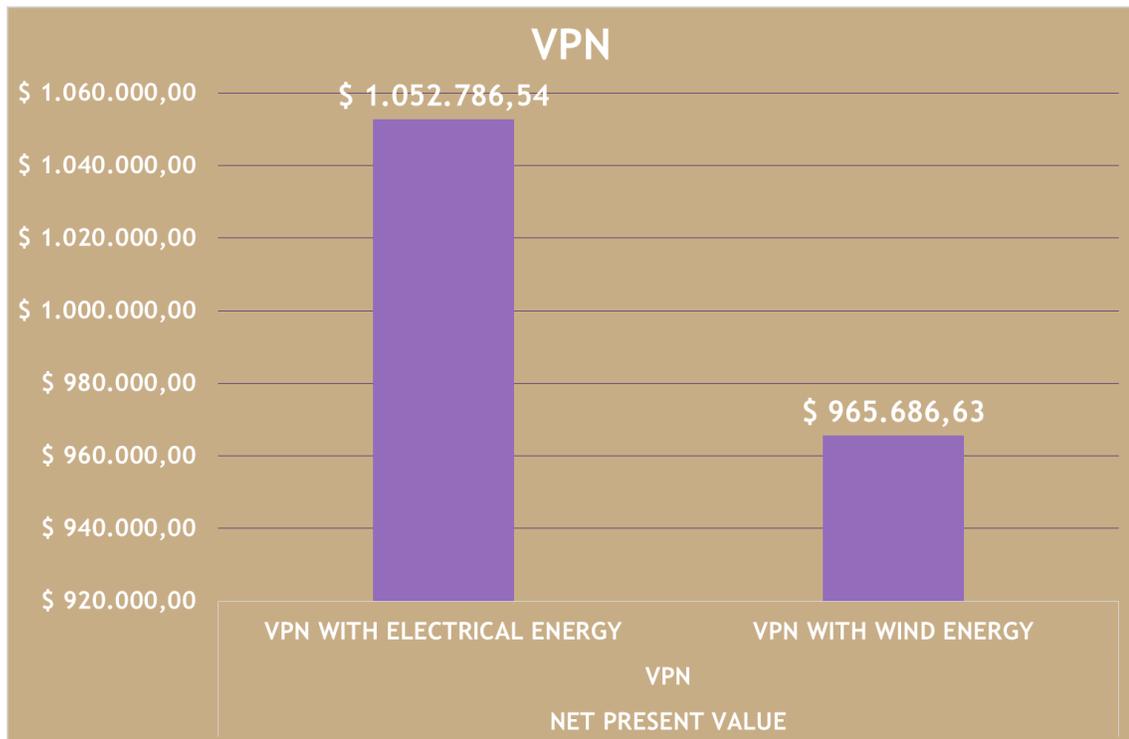


Figura 2-20: Gráfico de VPN para Energía Eléctrica y Energía Eólica.

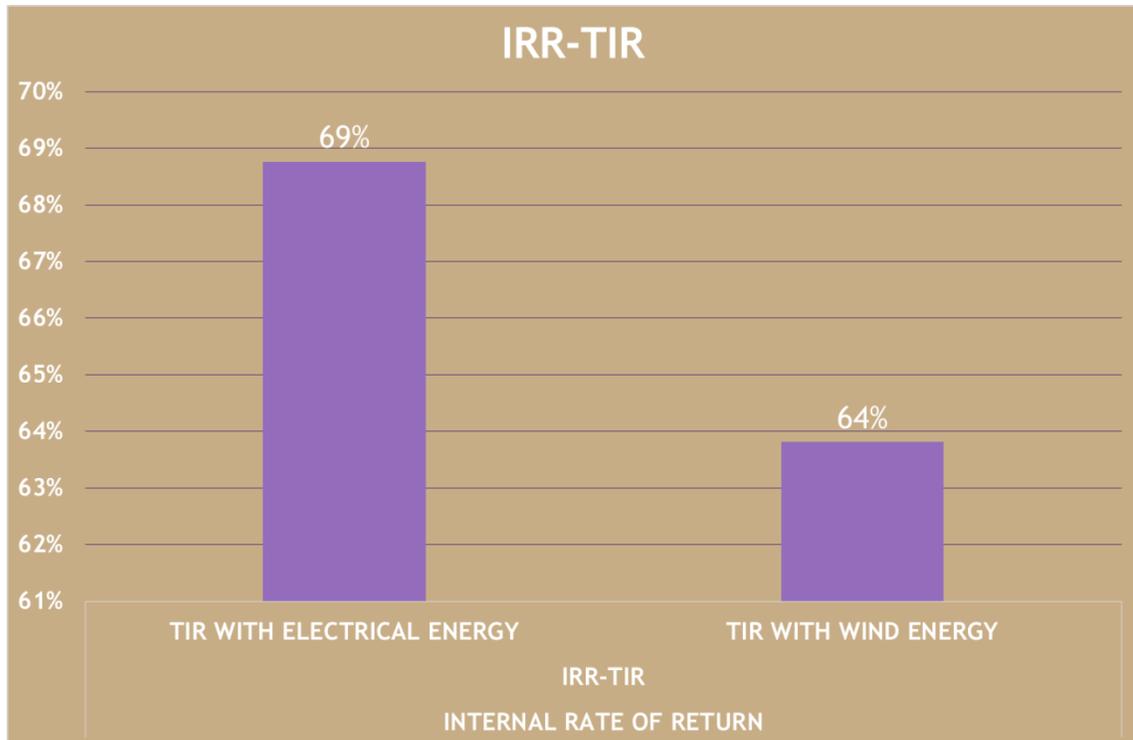


Figura 2-21: Gráfico de TIR para Energía Eléctrica y Energía Eólica.

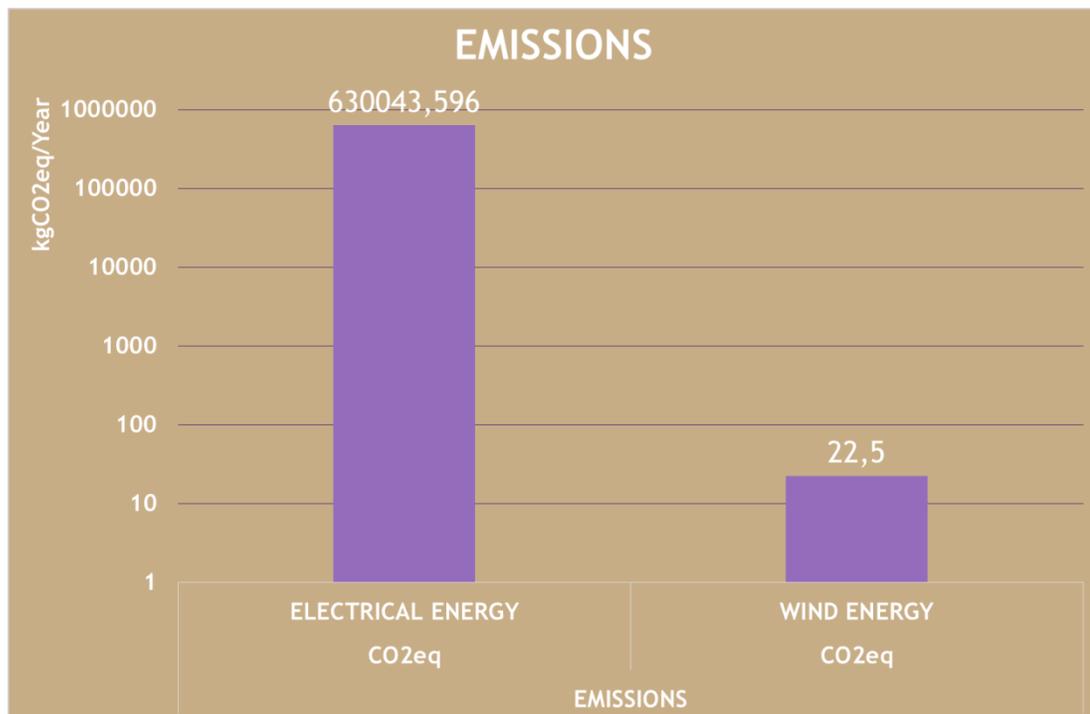


Figura 2-22: Gráfico de Emisiones de CO₂eq para Energía Eléctrica y Energía Eólica.

2.3 Validación de resultados con cálculos manuales del modelo ambiental.

- Resultados a partir del caso de estudio. Para 20 Ton Al/año.

Desde Excel Figura 2-23.

ENVIRONMENTAL MODEL				
CONSUMPTION	ELECTRICAL ENERGY		WIND ENERGY	
UNIT	kWh/Year		kWh/Year	
Year 1	150		150	

EMISSIONS				
CO2	CH4	N2O	CO2eq	CO2eq
ELECTRICAL ENERGY	ELECTRICAL ENERGY	ELECTRICAL ENERGY	ELECTRICAL ENERGY	WIND ENERGY
kgCO2/Year	kgCH4/Year	kgN2O/Year	kgCO2eq/Year	kgCO2eq/Year
62671,644	1,49688	0,95256	62998,37208	2,25

Figura 2-23: Resultados para caso de estudio, Modelo Ambiental.

Cálculos Manuales: Tabla 2-3.

Consumo	150 kWh/año	
Emisiones	Energía Eléctrica	Energía Eólica
CO₂	=150kWh/año*417,81096kgCO ₂ /kWh =62671,644 kgCO ₂ /año	150kWh/año*0,015kgCO ₂ /kWh =2,25 kgCO ₂ /año
CH₄	=150kWh/año*0,01kgCH ₄ /kWh =1,5 kgCH ₄ /año	-----
N₂O	=150kWh/año*0,0064kgN ₂ O/kWh =0,96 kgN ₂ O/año	-----
CO₂eq	=62671,644kgCO ₂ /año+(1,5kgCH ₄ /año*21)+ (0,96kgN ₂ O/año*310) =63000,744 kgCO ₂ eq/año	==2,25 kgCO ₂ /año

Tabla 2-3: Resultados para caso de estudio, Modelo Ambiental. Cálculos manuales.

			Modelo Excel	Modelo Manual	Discrepancia (%)
Emisiones	CO ₂	Energía Eléctrica	62671,644	62671,644	0
		Energía Eólica	2,25	2,25	0
	CH ₄	Energía Eléctrica	1,49688	1,5	0,208
		Energía Eólica	-----	-----	-----
	N ₂ O	Energía Eléctrica	0,95256	0,96	0,78
		Energía Eólica	-----	-----	-----
	CO ₂ eq	Energía Eléctrica	62998,37208	63000,744	3,76x10 ⁻³
		Energía Eólica	2,25	2,25	0

Tabla 2-4: Comparación Modelo Ambiental en Excel y Manual.

Los valores de Emisiones para Energía Eléctrica y Energía Eólica desde la Herramienta de Microsoft Excel®, comparados,

Tabla **2-4**, con los resultados hallados Manualmente para validación de resultados tienen una Discrepancia (%) muy pequeña, ya que los porcentajes son cercanos a cero (0%).

2.4 Validación de resultados con cálculos de otra herramienta del modelo económico.

- Resultados a partir del caso de estudio. VPN y TIR. Figura 2-24.

Desde Excel

VPN AND TIR											
YEAR	INITIAL INVESTMENT	YEAR 1	YEAR 2	YEAR 3	YEAR 4	YEAR 5	YEAR 6	YEAR 7	YEAR 8	YEAR 9	YEAR 10
FLAWS ELECTRICAL ENERGY	\$ (185.000,00)	\$ 92.100,00	\$ 92.100,00	\$ 92.100,00	\$ 92.100,00	\$ 92.100,00	\$ 92.100,00	\$ 92.100,00	\$ 92.100,00	\$ 92.100,00	\$ 92.100,00
FLAWS WIND ENERGY	\$ (185.000,00)	\$ 101.100,00	\$ 101.100,00	\$ 101.100,00	\$ 101.100,00	\$ 101.100,00	\$ 101.100,00	\$ 101.100,00	\$ 101.100,00	\$ 101.100,00	\$ 101.100,00
FLAWS SALES	\$ (185.000,00)	\$ 220.000,00	\$ 220.000,00	\$ 220.000,00	\$ 220.000,00	\$ 220.000,00	\$ 220.000,00	\$ 220.000,00	\$ 220.000,00	\$ 220.000,00	\$ 220.000,00
TOTAL FLOWS ELECTRICAL ENERGY	\$ (185.000,00)	\$ 127.900,00	\$ 127.900,00	\$ 127.900,00	\$ 127.900,00	\$ 127.900,00	\$ 127.900,00	\$ 127.900,00	\$ 127.900,00	\$ 127.900,00	\$ 127.900,00
TOTAL FLOWS WIND ENERGY	\$ (185.000,00)	\$ 118.900,00	\$ 118.900,00	\$ 118.900,00	\$ 118.900,00	\$ 118.900,00	\$ 118.900,00	\$ 118.900,00	\$ 118.900,00	\$ 118.900,00	\$ 118.900,00
RATE OF INTEREST											
0,00%											
NET PRESENT VALUE WITH ELECTRICAL ENERGY	NET PRESENT VALUE WITH WIND ENERGY	TIR WITH ELECTRICAL ENERGY	TIR WITH WIND ENERGY								
\$1.052.786,5	\$965.686,6	68,8%	63,8%								

Figura 2-24: Resultados para caso de estudio, Modelo Económico.

Desde Calculadoras para validación de resultados, 2014.

- VPN para Energía Eléctrica: Figura 2-25.

Rentabilidad

Inversión inicial

Valor Actual Neto (VAN)

aceptable

AÑO	COBROS	PAGOS	FLUJOS DE CAJA
0			-185.000,00
1	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="92.100,0"/>	127.900,00
2	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="92.100,0"/>	127.900,00
3	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="92.100,0"/>	127.900,00
4	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="92.100,0"/>	127.900,00
5	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="92.100,0"/>	127.900,00
6	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="92.100,0"/>	127.900,00
7	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="92.100,0"/>	127.900,00
8	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="92.100,0"/>	127.900,00
9	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="92.100,0"/>	127.900,00
10	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="92.100,0"/>	127.900,00

Figura 2-25: Resultados Modelo Económico. VPN para Energía Eléctrica. Calculadora.

– VPN para Energía Eólica: Figura 2-26.

Rentabilidad

Inversión inicial

Valor Actual Neto (VAN)

aceptable

AÑO	COBROS	PAGOS	FLUJOS DE CAJA
0			-185.000,00
1	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="101.100,0"/>	118.900,00
2	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="101.100,0"/>	118.900,00
3	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="101.100,0"/>	118.900,00
4	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="101.100,0"/>	118.900,00
5	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="101.100,0"/>	118.900,00
6	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="101.100,0"/>	118.900,00
7	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="101.100,0"/>	118.900,00
8	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="101.100,0"/>	118.900,00
9	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="101.100,0"/>	118.900,00
10	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="101.100,0"/>	118.900,00

Figura 2-26: Resultados Modelo Económico. VPN para Energía Eólica. Calculadora.

- TIR para Energía Eléctrica: Figura 2-27.

Desembolso Inicial

Tasa Interna de Retorno (TIR)

AÑO	COBROS	PAGOS	FLUJOS DE CAJA
0			-185.000,00
1	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="92.100,0"/>	127.900,00
2	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="92.100,0"/>	127.900,00
3	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="92.100,0"/>	127.900,00
4	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="92.100,0"/>	127.900,00
5	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="92.100,0"/>	127.900,00
6	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="92.100,0"/>	127.900,00
7	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="92.100,0"/>	127.900,00
8	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="92.100,0"/>	127.900,00
9	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="92.100,0"/>	127.900,00
10	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="92.100,0"/>	127.900,00

Figura 2-27: Resultados Modelo Económico. TIR para Energía Eléctrica. Calculadora.

- TIR para Energía Eólica: Figura 2-28.

Desembolso Inicial

Tasa Interna de Retorno (TIR)

AÑO	COBROS	PAGOS	FLUJOS DE CAJA
0			-185.000,00
1	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="101.100,0"/>	118.900,00
2	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="101.100,0"/>	118.900,00
3	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="101.100,0"/>	118.900,00
4	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="101.100,0"/>	118.900,00
5	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="101.100,0"/>	118.900,00
6	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="101.100,0"/>	118.900,00
7	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="101.100,0"/>	118.900,00
8	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="101.100,0"/>	118.900,00
9	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="101.100,0"/>	118.900,00
10	<input type="text" value="220.000,0"/>	<input type="text" value="101.100,0"/>	118.900,00

Figura 2-28: Resultados Modelo Económico. TIR para Energía Eólica. Calculadora.

		Modelo Excel	Modelo Calculadora	Discrepancia (%)
VPN	Energía Eléctrica	1.052.786,5	1.052.786,54	$3,8 \times 10^{-6}$
	Energía Eólica	965.686,6	965.686,63	$3,1 \times 10^{-6}$
TIR	Energía Eléctrica	68,8%	68,77%	0,043
	Energía Eólica	63,8%	63,81%	0,015

Tabla 2-5: Comparación Modelo Económico en Excel y en Calculadora 2014.

Los valores de VPN (VAN) para Energía Eléctrica y Energía Eólica desde la Herramienta de Microsoft Excel®, coinciden con el resultado proporcionado en la Calculadora 2014 para validación de resultados, donde se encuentra la aplicación para el cálculo de este valor.

Los valores de TIR (IRR) para Energía Eléctrica y Energía Eólica desde Herramienta de Microsoft Excel®, coinciden con el resultado proporcionado en la Calculadora 2014 para validación de resultados, donde se encuentra la aplicación para el cálculo de este valor.

Los resultados de Discrepancia (%) son mínimos Tabla 2-5, se podría concluir que no hay diferencias, ya que los porcentajes son aproximadamente cero (0%).

3. Conclusiones y recomendaciones

3.1. Conclusiones

- El proyecto realizado ha contribuido de manera importante para la identificación de indicadores en los aspectos ambientales y económicos dentro de los procesos de manufactura de aluminio, los cuales permiten hacer comparaciones dentro de un modelo ambiental y un modelo económico para la toma de decisiones y la implementación de nuevas estrategias dentro de la manufactura de productos de aluminio, que sirvan para dar un enfoque de sostenibilidad y establecer medidas que generen menos impacto ambiental y mejor estado económico.
- La utilización de factores de emisión ambiental tanto para energía eléctrica como para energía eólica proporcionan la visualización en el mejoramiento a los impactos ambientales producidos en los procesos de manufactura de aluminio, con energía eólica, como energía renovable, siendo está una propuesta para la implementación de nuevos recursos que ayuden al planeta.
- El modelo económico escogido en la literatura fue importante en el planteamiento y desarrollo, tanto de la herramienta como de los resultados obtenidos para la realización de comparaciones y la exploración de métodos nuevos que permitan evidenciar un enfoque de sostenibilidad avanzado.
- La herramienta desarrollada en Microsoft Excel ® es de fácil manejo y su diseño gráfico permite al usuario establecer un contacto directo y viable en el manejo de la misma.

- Las soluciones encontradas en el desarrollo de la herramienta Microsoft Excel ® fueron validadas con otras herramientas, de uso manual y proporcionadas externamente, encontrando igualdad en los resultados para la comparación, lo que indica un logro significativo en la propuesta realizada y lleva a la obtención de resultados adecuados para el análisis dentro de los procesos de manufactura de aluminio.
- Según la información calculada, se debe seleccionar la alternativa de Energía Eólica, debido a que implica menos costos y las emisiones producidas son muy pocas. En la siguiente tabla, Tabla 3-1, se hace un comparativo para evidenciar los pros y los contras de la energía eólica siendo esta la mejor alternativa.

ENERGÍA EÓLICA	
<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
Es una fuente de energía segura y renovable.	Contaminación visual.
No produce emisiones a la atmósfera ni genera residuos, salvo los de la fabricación de los equipos y el aceite de los engranajes.	Impacto sobre la avifauna.
Se trata de instalaciones móviles, su desmonte permite recuperar totalmente la zona.	Contaminación sonora
Rápido tiempo de construcción	Contaminación espacial
Bajo costo con respecto a energía como la solar.	Interferencias electromagnéticas
Presenta nula incidencia sobre las características fisicoquímicas del suelo.	
Evita la contaminación que conlleva el transporte de los combustibles.	
Al ser una energía que depende del viento se hace más estable ya que es bastante estable y predecible.	

Tabla 3-1: Comparativo Energía Eólica.

3.2. Recomendaciones

- Se deja para una investigación futura la implementación del aspecto social en el análisis, para dar un desarrollo completo de sostenibilidad en los procesos de manufactura de aluminio, que también puede extenderse a otros procesos manufactureros, ampliando la herramienta propuesta, en búsqueda del mejoramiento del impacto ambiental, soluciones económicas e implementaciones de desarrollo social que mejoren la calidad de vida de las personas y las industrias.

- Además se propone, anexar aplicaciones con otros tipos de energía, para establecer comparaciones y realizar propuestas que mejoren el funcionamiento de los procesos y proporcionen la optimización continua dentro de los aspectos del desarrollo sostenible en la manufactura a nivel global.

Bibliografía

Adams, C.A.2002. Internal organizational factors influencing corporate social and ethical reporting: beyond current theorizing, *Accounting, Auditing & Accountability Journal* 15 (2) 223–250.

Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. 1998.OAQPS / TSD / EIB Research Triangle Park, NC 27711.

Assefa, G.,Frostell, B. 2007. Social sustainability and social acceptance in technology assessment: a case study of energy technologies. *Technol. Soc.*;29:63–78.

Atkinson, G., Dubourg, R., Hamilton, K., Munasignhe, M., Pearce, D. and Young, C. 1997.Measuring sustainable development: macroeconomics and the environment. Edward Elgar Publishisng. Cheltenham, UK.

Baca, G. 1994. Fundamentos de ingeniería económica. McGraw-Hil, pp. 305.

Beloff, B. and Beaver, E. 2000.Sustainability indicators and metrics of industrial performance. Paper SPE 60982. Presentado en SPE International Conference on Health, Safety, and Environment in Oil and Gas Exploration and Production. Stavanger. Noruega.

Beloff, B. and Beaver, E. 2000.Sustainability indicators and metrics of industrial performance. Paper SPE 60982. Presentado en SPE International Conference on Health, Safety, and Environment in Oil and Gas Exploration and Production. Stavanger. Noruega.

Bergh, V.D.,JeroenC.J.M. 1996. “Sstainable Development and Management”, *Ecological Economics and Sustainable Development: Theory, Methods and Applications*, pp. 53-79, Edward Elgar Publishing Cheltenham, ReinoUnido.

Berke, P., Manta, M., 1999.Planning for Sustainable Development: Measuring Progress in Plans; Working Paper; Lincoln Institute of Land Policy. Cambridge, Massachusetts. {En

línea}. {15 de Octubre de 2013} disponible en:
<http://www.lincolninst.edu/pubs/pubdetail.asp?id=58>.

Blank, L., Tarquin, A. 2008. Basics of Engineering Economy. McGraw-Hill. Higher Education.

Böhringer, C., Jochem, P. 2007. Measuring the immeasurable. A survey of sustainability indices. *Ecol. Econ.*, 63: 1-8.

Bonini, S. 2011. McKinsey Global Survey Results: The Business of Sustainability, McKinsey & Company.

Bossel, H. 1999. Indicators for Sustainable Development: Theory, Method, Applications. A Report to the Balaton Group, IISD, Canada.

Brink, B. 1991. The AMOEBA approach as a useful tool for establishing sustainable development. In: Kuik, O., Verbruggen, H. (Eds.). In search of indicators of sustainable development. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands.

Brundtland, G.H. 1987. (Ed.), Our Common Future: The World Commission on Environment and Development, Oxford University Press, Oxford.

Calculadoras para validación de resultados, 2014. {En línea}. {20 de Junio de 2014} disponible en: <http://es.calcuworld.com/calculadoras-empresariales/calculadora-van/>.

Callister, W. D. 2000. Materials science and engineering: an introduction. New York: John Wiley and Sons.

Coss Bu, R. 1999. Análisis y evaluación de proyectos de inversión, 2ª ed. Limusa, pp. 375.

CRFEC, Committee on Radiative Forcing Effects on Climate, 2005. Climate Research Committee, National Research Council. Radiative Forcing of Climate Change: Expanding the Concept and Addressing Uncertainties. The National Academies Press. Washington, D.C. ISBN 9780309095068.

DeSimone, L., Popoff, F., 1997. Eco-Efficiency: The Business Link to Sustainable Development. MIT Press, Cambridge.

Devuyst, D., Hens, L. and Lannoy, W. 2001. How green is the city? Sustainability assessment and the management of urban environments. Columbia University Press. New York.

Dones R, Heck T, Hirschberg S. 2004. Greenhouse gas emissions from energy systems, comparison and overview. *Encyclopaedia Energy*;3:77–95.

EAA, European Aluminium Association, 2004. Aluminium Recycling in Europe. The Road to High Quality Products, European Aluminium Association, Brussels.

EPA, Environmental Protection Agency U.S. 2005. Climate Change global warming. Washington State Mandatory GHG Emissions Reporting Rule Advisory Committee Meeting. {En línea}. {20 de Septiembre de 2013} disponible en: http://www.epa.gov/solar/documents/eGRIDzips/eGRID2007V1_0_year05_GHGOutputRates.pdf

Fernández, F. 2006. Indicadores de sostenibilidad y medio ambiente: métodos y escala. Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. Sevilla. España.

Fizal, M., 2007. An environmental assessment method for cleaner production technologies. *J. Cleaner Prod.* 15, 914–919.

Fussler, C., James, P., 1996. Driving Eco-Innovation: A Breakthrough Discipline for Innovation and Sustainability. Pitman Publishing, London.

Gaziulusoy, Al., Boyle, C.A., McDowall, R. 2008. A conceptual systemic framework proposal for sustainable development: incorporating future studies within a co-evolutionary approach. *Civ. Eng. Environ. Syst.* 25:301–11.

Godfrey, L., Todd, C. 2001. Defining thresholds for freshwater sustainability indicators within the context of South African water resource management. 2nd WARFA/Waternet Symposium: Integrated Water Resource Management: Theory, Practice, Cases. Cape Town. South Africa{En línea}. {25 Marzo de 2012} disponible en: <http://www.waternetonline.ihe.nl/aboutWN/pdf/godfrey.pdf>. (6-7-09).

Goldemberg, J., Johansson T.B., AKN, T.B. 1988.Reddy, RH. Williams. Energy for a sustainable world.New Delhi: Wiley Eastern.

GRI. Global Reporting Initiative, 2002a. The Global Reporting Initiative—An Overview. Global ReportingInitiative, Boston, USA. {En línea}. {30 de Septiembre de 2013} disponible en: <http://www.globalreporting.org>.

GRI, Global Reporting Initiative, 2002b. Sustainability reporting Guidelines 2002 on Economic and Social Performance.Global ReportingInitiative, Boston, USA. {En línea}. {30 de Septiembre de 2013} disponible en: <http://www.globalreporting.org>.

Hanley, N. 2000. Macroeconomic measures of sustainability. *J. Econ. Surv.*, 14 : 1-30.

Harris, J.M., Goodwin, N.R. 2001.Volume introduction. In: Jonathan MH, Timothy AW, Kevin PG,Neva RG, editors. A survey of sustainable development: social and economic dimensions, frontier issues in economic thought, Vol. 6. Washington: Island Press; pp. xxvii.

Haveman, R.H. 1989. Thought on the sustainable development concept and environmental effects of economic policy, Seminario de OECD “The Economics of the Environmental Issues” Paris.

Hermann, B.G., Kroeze, C., Jawjit, W., 2007. Assessing environmental performance by combining life cycle assessment, multi-criteria analysis and environmental performance indicators. *J. Cleaner Prod.* 15, 1787–1796.

Hodge, A., Hardi, P. and Bell, D. 1999. Seeing change through the lens of sustainability. Paper for the Workshop: Beyond Delusion: Science and Policy Dialogue on Designing

Effective Indicators of Sustainable Development. International Institute for Sustainable Development. Costa Rica.

IAI, International Aluminium Institute Global Aluminium 2009. Recycling: A Cornerstone of Sustainable Development, Global Aluminium Recycling Committee, London.

IEA, International Energy Agency, 2001. World Energy Outlook. Assessing Today's Supplies to Fuel Tomorrow's Growth. INSIGHT.

IEA, International Energy Agency, 2002. World Energy Outlook. Parte I.

Infante, A. 1997. Evaluación financiera de proyectos de inversión, 3ª ed. Norma, pp. 400.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. Cambio Climático. Informe de Síntesis, Publicado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

ISO 14040:1997. Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework. International Standard Organization.

Jiménez-Herrero, L. 2001. Desarrollo sostenible y economía ecológica. Integración medio ambiente, desarrollo y economía-ecología. Ediciones Síntesis. Madrid.

Kalpakjian, S., Schmid, S. R. 2008. Manufactura, ingeniería y tecnología. Mexico: Pearson Educación.

Kates, R., Clark, W., Corell, R., Hall, M., Jaeger, C., Lowe, I., McCarthy, J., Schellnhuber, H., Bolin, B., Dickson, N, Faucheux, S., Gallopin, G., Grubler, A., Huntley, B., Jager, J., Jodha, N., Kasperson, R., Mabogunje, A., Matson, P. and Mooney, H. 2001. Sustainability science. *Science*, 292: 641-642.

Kemmler, A., Spreng, D. 2007. Energy indicators for tracking sustainability in developing countries. *Energy Policy*; 35:2466–80.

Klauber, C., Gräfe, M., Power, G. 2011. Bauxite residue issues: II. Options for residue utilization, *Hydrometallurgy* 108.

Lancker, E. and Nijkamp, P. 2000. A policy scenario analysis of sustainable agricultural development options: a case study for Nepal. *Impact Assessment & Project Appraisal*, 18: 111-124.

Lenntech BV, 2011. "WaterTreatmentSolutions". Aluminio. {En línea}. {10 julio de 2011} disponible en: <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/al.htm>.

Liker, J.K. 2004. *The Toyota Way*, McGraw-Hill.

López, J. y Mantilla, E. 2006. Los indicadores y la medición de la sostenibilidad. En: Mantilla, E. (Ed.). *Medición de la sostenibilidad ambiental*. Universidad Cooperativa de Colombia. Colombia. {En línea}. {12 de Octubre de 2013} disponible en: <http://site.ebrary.com/lib/bibliocordoba/Doc?id=10154590&ppg=121>.

Lundin, U. 2003. *Indicators for Measuring the Sustainability of Urban Water Systems—a Life Cycle Approach*, PhD Thesis, Department of Environmental Systems Analysis, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.

MacNeill, J. 1989. Strategies for sustainable economic development, *Scientific American*, vol. 261, num. 3.

Maitin, S., Lacy, P. 2011. Towards a new era of sustainability in the automotive industry, in: *UNGlobal Compact-Accenture CEO Study*.

Marsmann, M. 2000. "The ISO 14040 Family. *International Journal of Life Cycle Assessment*", Vol. 5, p. 317-318.

Maslin, M. 2004. Atmosphere: Ecological Versus Climatic Thresholds. *Science*: 2197-2198.

Mayer, A. 2008. Strengths and weaknesses of common sustainability indices for multidimensional systems. *Environ. Inter.*, 34: 277-291.

Meadows, D.1998.Indicators and information system for sustainable development.A report to the Balaton Group.

Mebratu, D. 1998. Sustainability and sustainable development: historical and conceptual review. *Environ. Impact Assess. Rev.* 18:493–520.

Modapothala, J.R.,Issac, B.,Jayamani, E., 2010.Appraising the Corporate Sustainability Reports – Text Mining and Multi-Discriminatory Analysis, in: *Innovations in Computing Sciences and Software Engineering*, Springer, Dordrecht, pp. 489–494.

Mog, J.M. 2004.Struggling with sustainability—a comparative framework for evaluating sustainable development programmes. *World Dev*; 26:2139–60.

Mukhopadhyay, Y.,Ramana, V., Singh,U.2005. Extraction of value added products from aluminium dross material to achieve zero waste, *TMS Light Met.* 1209–1212.

Munda, G. 2005. Measuring sustainability: A multicriterion framework.*Environ. Dev. Sustain.*, 7:117-134.

NACFAM, National Council for Advanced Manufacturing.2010. “Strategies for a new Industrial Era” White Paper: Development, Release and Open-Sourcing of NACFAM’s Sustainability Framework Model June, 2010. Washington, D.C.

Naciones Unidas, 1990.Informe ad-hoc committee of the 18th special session, Nueva York, Abril, 1990.

Ness, B., Urbel-Piirsalu, E., Anderberg, S. and Olsson, L. 2007.Survey: Categorizing tools for sustainability assessment. *Ecol. Econ.*, 60: 498-508.

Nievel, B.W. 1996. *Ingeniería industrial*, 9^a ed. Alfaomega, pp. 880.

OECD, 1989. Organization for Economic Co-operation and Development. The concept of sustainable development and its practical economic implications, Note by the secretariat, Octubre de 1989. Paris.

OECD, Organization for Economic Co-operation and Development, 2002a. An update of the OECD Composite leading Indicators. Short-term economic Statistics division, Statistics Directorate/OECD. {En línea}. {30 de Septiembre de 2013} disponible en: <http://www.oecd.org>.

OECD, 2002b. OECD Guidelines for Multinational Enterprises. Annual Report 2002.

OECD (Organization for Economic Cooperation and Development). 2002c. An update of the OECD Composite leading Indicators. Short-term economic Statistics division, Statistics Directorate/OECD. Disponible en: <http://www.oecd.org/dataoecd/6/2/2410332.pdf>.

Park, C.S. 1997. Ingeniería industrial contemporánea. U.S.A. Addison Wesley Longman, pp. 791.

Payri, F., Desantes.J.M. 2011. Motores de combustión interna alternativos. Editorial Universidad Politécnica de Valencia y Reverté. ISBN:978-84-8363-705-0.

Pezzey, J. 1989. "Economic analysis of sustainable growth and sustainable development. The World Bank Environmental Department", Conferencia N°5, Washington.

Popp, J., Hoag, D. and Hyatt, E. 2001. Sustainability indices with multiple objectives. *Ecol. Indicators*, 1: 37-47.

Pre Consultants, 2004. The Eco-indicator 99—a damage oriented method for life cycle assessment. Methodology report, {En línea}. {20 de Octubre de 2013} disponible en: <http://www.pre.nl/>.

Pré Consultants, 2000. The Eco-indicator 99. A damage oriented method for life cycle impact assessment.

PRIEN (Programa de Investigaciones en Energía). 2000. Inventario de Emisiones de Gases de Efecto invernadero, procesos industriales y uso de solventes. Chile 1986-

1998. Informe final. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Santiago, Chile. 46 p.

Rao, P., Holt, D. 2005. Do green supply chains lead to competitiveness and economic performance? *International Journal of Operations & Production Management* 25 (9).898–916.

Rees, W., Wackernagel, M. 1996. Urban ecological footprints: why cities cannot be sustainable and why they are a key to sustainability. *Environ. Impact Assess. Rev.*, 16: 223-248.

Repetto, R. 1985. *The Global Possible: Resource, development, and the new century.* The World Resources Institute, Yale University Press, New Haven and London.

Sapag, N. 1993. *Criterios de evaluación de proyectos,* McGraw-Hill, pp. 144.

Schuh, G.E. 1987. "Some thoughts on economic development, sustainability, and the environmental". En David, T.J. y Schirmer, I.A. (comps.): *Sustainability issues in agricultural development: proceedings of the seventh agriculture sector symposium,* World Bank Washington, D.C.

SCRC, Supply Chain Resource Cooperative, 2012. *Key sustainability issues in the electronics industry: sustainability industry report,* The SCRC Articles Library.

Shingo, S. 1981. *A Study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint,* Productivity Press.

Singh, R.K., Murty, H.R., Gupta, S.K. and Dikshit, A.K. 2009. An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecol. Indic.*, 9: 189-212.

Tapping, D., Luyster T., Shuker, T. 2002. *Value Stream Management,* Productivity Inc.

Tenorio, J.A.S., Espinosa, D.C.R. 2002. Effect of salt/oxide interaction on the process of aluminum recycling, *J. Light Met.* 2. 89–93.

Terroba, P.J, 2010. Sistema de gestión Medio Ambiental Modelo de Sostenibilidad ALCOA San Ciprián, Foz, 11 de Febrero de 2010, Edición 42. {En línea}. {10 octubre de 2011} disponible en: (http://www.medioambienteysalud.com/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=306&Itemid=474)

Thuesen, H.G. Fabrycky, W.J. Thuesen, G.J. 1986. Ingeniería Económica. Prentice Hall, pp. 592.

Thurow, L. The Zero-Sum Society. 1980. Basic Books, Nueva York, pp230.

Toro, P., García, A., Gómez-Castro, A.G., Perea, J., Acero, R., Rodríguez-Estévez, V. 2010. Assessment of the sustainability of agroecosystems.

Totten, E., MacKenzie, D.S. 2003. Handbook of Aluminum – Volume 1: Physical Metallurgy and Processes, Marcel Dekker Inc., New York.

Trama, L., Troyano, J.C. 2002. “Análisis del Ciclo de Vida según las normas de la subserie IRAM-ISO14040”. Departamento de Energía y Asuntos Ambientales, Instituto Argentino de Normalización. Revista Construir, No. 57, p. 6.

Varela, R. 1997. Evaluación económica de proyectos de inversión, 6ª ed. Grupo editorial Iberoamérica, pp. 604.

Veleva, V., Ellenbecker, M. 2001. Indicators of sustainable production: framework and methodology. J. Clean. Prod., 9: 519-549.

WBCSD. World Business Council for Sustainable Development. 1997. Signals of Change: Business Progress Toward sustainable Development. Geneva, Switzerland.

WBCSD, World Business Council for Sustainable Development. 1999. Eco-efficiency Indicators and Reporting: Report on the Status of the Project's Work in Progress and Guidelines for Pilot Application. Geneva, Switzerland.

Weisser, D. 2007. A guide to life-cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric

supplytechnologies. Energy 32 (2007) 1543–1559.

WHO, World Health Organization. 2009. Global estimates of burden of disease caused by environmental risks. {En línea}. {20 Marzo de 2012} disponible en: http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/global/en/ [Accessed 17 February 2011].

Windpower, 2012. Danish Wind Industry Association. {En línea}. {05 Mayo de 2012} disponible en: <http://www.windpower.org>.

Womak, J. Jones, D. 2004. Lean Thinking, Simon and Shuster Publishers, 2004 revisión.
World Bank; World Development Reports, Washington, D.C., 1990, 1991, 1992

World Commission on Environment and Development. 1987. Our common future. Oxford: Oxford University Press. Also known as the Brundtland Report.

WWF, World Wildlife Fund for Nature. 2006. Informe Planeta Vivo 2006. Ed. Hails, C. Gland Suiza.

Zheng, L., Soria, A., 2007. Prospective Study of the World Aluminium Industry, JRC Scientific and Technical Reports, EUR 22951EN, JRC European Commission, Brussels.