



## LIMITACIONES FINANCIERAS EN LA GESTIÓN DE UN PROYECTO TECNOLÓGICO VERDE: POSIBLES SOLUCIONES

### FINANCIAL LIMITATIONS IN MANAGEMENT OF A GREEN TECHNOLOGICAL PROJECT: POSSIBLE SOLUTIONS

*Juan David Vargas Quiceno<sup>1</sup>, John Alexander Taborda Giraldo<sup>2</sup>*

**RESUMEN:** Muchos de los proyectos de innovación tecnológica verde (que buscan el desarrollo de productos que causen un impacto positivo en el ambiente) requieren de una alta inversión económica, que en países como Colombia, es difícil de conseguir ya sea de capital público o de capital privado. En este trabajo se analiza el caso particular de un proyecto de generación de energía eléctrica a partir de un relleno sanitario, el cual requiere de una inversión inicial muy alta y el tiempo de recuperación de la inversión es a muy largo plazo, por lo cual no es fácil conseguir inversionistas. Por lo tanto, se deben explorar diversos tipos de soluciones para poder llevar a cabo este tipo de proyectos. En este trabajo, se explora la posibilidad que brinda el protocolo de Kioto firmado en 1997 sobre el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Después de analizar las ventajas y desventajas del modelo MDL se analiza la viabilidad financiera del proyecto de generación de energía eléctrica a partir del relleno sanitario a la luz de un convenio MDL.

*Palabras clave:* Tecnología verde, mecanismo de desarrollo limpio, protocolo de Kioto, desarrollo sostenible.

**ABSTRACT:** Many projects of green technological innovation require high economic investment. This fact is difficult in countries like Colombia (either public capital or private capital). In this work, the particular case of a project of electric power generation based on sanitary filler is analyzed. This project requires of a very high initial investment and the recovery time is to very long term. Therefore, it is not easy to get investors. Diverse types of solutions should be explored to be able to carry out this type of projects. In this work, we explore the possibility offered by the protocol of Kioto (1997) named Clean Development Mechanism (CDM). We discuss advantages and disadvantages of the CDM and the financial viability of the case of study is analyzed.

*Keywords:* Green technology, protocol of Kioto, clean development mechanism, sustainable development.

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde 1987, momento en el cual nació el término *desarrollo sostenible* se ha venido trabajando decididamente en satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro. En esta medida se han ido realizando proyectos de innovación tecnológica que buscan la realización de productos que causen un impacto positivo en el ambiente.

Los resultados de cada uno de estos proyectos, conocidos como proyectos verdes, son medidos de acuerdo a indicadores ambientales, económicos y sociales, siendo los dos primeros los que determinan la viabilidad de proyectos futuros.

Proyectos como la generación de energía eléctrica a partir de un relleno sanitario requieren de una alta inversión inicial y sumado a esto el tiempo de recuperación de la inversión es muy prolongado. Estos aspectos hacen que proyectos que son muy atractivos desde el punto de vista ambiental se conviertan en poco atractivos desde una perspectiva financiera. Sin embargo, dados los preocupantes problemas que afronta el planeta, se deben explorar mecanismos para que los proyectos verdes se puedan implementar, independientemente de los problemas financieros asociados a estos proyectos.

<sup>1</sup> Estudiante de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. [jdvargasq@unal.edu.co](mailto:jdvargasq@unal.edu.co)

<sup>2</sup> Profesor de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Magdalena, Santa Marta [jataborda@unimagdalena.edu.co](mailto:jataborda@unimagdalena.edu.co).

El problema del calentamiento global es muy complejo y para solucionarlo, o por lo menos disminuirlo, es necesario que se realicen proyectos tecnológicos que ataquen cada posible foco de problemas. Por ejemplo, la generación de energía eléctrica, necesaria para satisfacer las necesidades sociales de la población, es responsable de un gran porcentaje de la contaminación expulsada a la atmósfera. La producción de electricidad mediante la quema de carbón, utilizada desde el inicio del mercado energético es altamente contaminante pues con este se liberan dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno que causan la lluvia ácida cuyos efectos han sido altamente estudiados. Además, estas prácticas son responsables de emisiones de mercurio y dióxido de carbono, este último, el principal gas de efecto invernadero. Por tal motivo, el carbón se ha convertido en el combustible fósil más sucio por encima del petróleo.

La generación mediante recursos hídricos, aunque es considerada limpia pues no expulsa a la atmósfera los gases mencionados anteriormente, tiene dos grandes problemas: por un lado, es necesario inundar grandes territorios que afectan los ecosistemas de muchas especies, y por otro lado, para poder implementarla es necesario contar con una ubicación estratégica cerca de los afluentes naturales. El carbón por ser de fácil transporte, no tiene este último inconveniente. Colombia cuenta con un 66.9% de generación hidráulica y 5.6% de generación con base en carbón.

La generación de energía eléctrica usando tecnología eólica, solar o por biomasa, también llamadas *energías alternativas*, han sido desarrolladas para producir electricidad con un impacto ambiental menor a los obtenidos con las tecnologías tradicionales. Sin embargo, por los elevados costos de implementación, no se han podido lograr que las energías alternativas desplacen en un gran porcentaje a las energías convencionales. En Colombia, menos del 5% de la energía eléctrica es generada por medios alternativos. En este trabajo se analiza el caso particular de un proyecto de generación de energía eléctrica a partir de un relleno sanitario, denominado GEERSA, el cual fue concebido al interior de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

Los estudios preliminares han mostrado que se requiere de una inversión inicial muy alta y que el tiempo de recuperación de dicha inversión es muy prolongado. Inversionistas públicos y privados coinciden en tomar con mucha cautela una eventual

participación en el proyecto, debido a los desalentadores indicadores financieros. Con este escenario por delante, se deben explorar otros tipos de mecanismos para poder llevar a cabo el proyecto GEERSA.

En particular este trabajo explora la posibilidad que brinda el protocolo de Kioto firmado en 1997 sobre el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) [1]. El MDL plantea que países desarrollados, responsables de la mayor cantidad de emisión de gases de efecto invernadero, pueden invertir en proyectos que reduzcan la emisión de estos gases en países en vía de desarrollo como Colombia, logrando con esto tomar estas reducciones como propias (cumpliendo así los acuerdos establecidos) y ayudar los países en desarrollo a lograr un desarrollo sostenible [2].

Después de analizar las ventajas y desventajas del modelo MDL se analiza la viabilidad financiera del proyecto de generación de energía eléctrica a partir del relleno sanitario a la luz de un convenio MDL.

## 2. PROTOCOLO DE KIOTO

Con la ciudad de Kioto como testigo, los países más desarrollados se reunieron en diciembre de 1997 para buscar mecanismos que permitan reducir los gases de efecto invernadero [3].

De ese momento histórico quedó como resultado el acuerdo internacional denominado Protocolo de Kioto sobre el cambio climático, que tiene por objetivo reducir las emisiones de los siguientes seis gases que causan el calentamiento global: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), gas metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), además de tres gases industriales fluorados: Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ) [4].

El acuerdo entró en vigor en febrero de 2005, mientras que los resultados de dicho acuerdo se deben reflejar dentro del periodo comprendido entre 2008 y 2012. Los gobiernos que firmaron el acuerdo pactaron reducir en al menos un 5% en promedio las emisiones

contaminantes, tomando como referencia los niveles medidos en 1990.

Rigurosos estudios económicos y medioambientales, basados en el principio de *reparto de carga*, han determinado los porcentajes que cada país debe cumplir para alcanzar la meta global del 5%. Por ejemplo, en la Unión Europea los compromisos de cada país son los siguientes: Alemania (-21%), Austria (-13%), Bélgica (-7,5%), Dinamarca (-21%), Italia (-6,5%), Luxemburgo (-28%), Países Bajos (-6%), Reino Unido (-12,5%), Finlandia (-2,6%), Francia (-1,9%), España (+15%), Grecia (+25%), Irlanda (+13%), Portugal (+27%) y Suecia (+4%). Sin embargo, a la fecha algunos países están comprometiendo sus metas. Por ejemplo España se comprometió a aumentar sus emisiones un máximo del 15% en relación al año base, pero al 2008 registraba un porcentaje de aumento del 42.7% con respecto a los niveles de 1990, lo cual hace que la meta se vea cada vez más lejana [5].

Los países en vía de desarrollo no están obligados a cumplir las metas cualitativas establecidas por el protocolo de Kioto. Sin embargo, países como Argentina han adherido a la iniciativa y se han comprometido con la reducción de emisiones o, al menos, con su no incremento.

Argentina se ha vinculado al protocolo de Kioto por medio del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Un proyecto en el marco del MDL es un proyecto de reducción de emisiones o secuestro de carbono que se lleva a cabo en un país en desarrollo.

Este mecanismo podría ser utilizado por países en desarrollo para apalancar proyectos ambientalmente amigables que son difíciles de ejecutar por sus elevados costos.

### 3. MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO (MDL)

Tres son los mecanismos de flexibilidad que contempló el Protocolo de Kioto para lograr los objetivos de los países que están obligados a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Estos son: el Comercio Internacional de Emisiones (CE), el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y el Mecanismo de Aplicación Conjunta (AC).

El concepto de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) nació como una forma de ayudar a las naciones altamente industrializadas a reducir la cantidad de gases de efecto invernadero expulsados a la atmósfera mediante la suscripción de acuerdos especiales con entidades públicas o privadas que permitan encontrar una solución que beneficie a las dos partes involucradas al cumplir con los acuerdos establecidos y encontrar soluciones económicas a los problemas ambientales actuales.

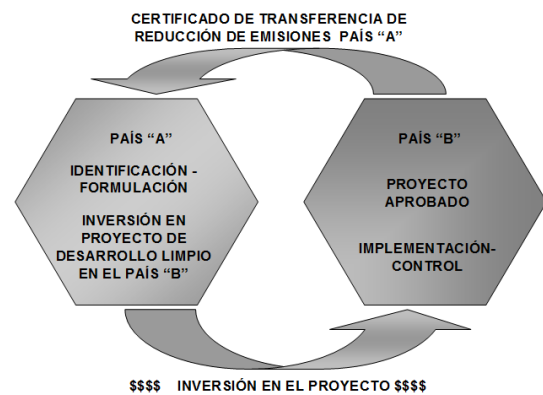


Figura 1. Proceso de un proyecto en el Mecanismo de Desarrollo Limpio.

El Mecanismo de Desarrollo Limpio plantea que los países desarrollados, responsables de la mayor cantidad de emisión de gases de efecto invernadero, pueden invertir en proyectos que reduzcan la emisión de estos gases en países en vía de desarrollo (ejemplo Colombia), logrando con esto tomar estas reducciones como propias (cumpliendo así los acuerdos establecidos) y ayudar los países en desarrollo a lograr un desarrollo sostenible [6].

Por ejemplo, una nación industrializada como Estados Unidos invierte en Colombia en un proyecto de generación de energía eléctrica que garantice la reducción en la emisión de gases (como nuestro caso de estudio GEERSA) y con esto, Estados Unidos aumenta los índices de reducción de emisión, tomando la disminución o captura de GEERSA como propia y Colombia aumenta sus índices de desarrollo sostenible. En la figura 1 se ilustran los principales aspectos del MDL.

Se debe tener en cuenta que para que los países puedan participar en proyectos MDL, deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Participación voluntaria de cada país en el MDL.
- Establecimiento de una autoridad en el MDL.
- Ratificación del Protocolo de Kioto.

Así mismo, los proyectos como tal deben cumplir con otros tres criterios de elegibilidad:

- Asistir entidades que no pertenecen al Anexo 1 del protocolo para que alcancen el desarrollo sostenible y contribuir al objetivo último de la convención.
- Que sea real, medible y que provea beneficios de largo plazo en relación con la mitigación del cambio climático.
- Que provea reducción de emisiones que sean adicionales a las que se producirían en ausencia de la actividad del proyecto certificado.

Se han identificado cinco etapas fundamentales en el ciclo de un proyecto MDL, las cuales son:

1. **Diseño:** Todos los proyectos deben completar un documento de Diseño de Proyecto (DDP), en el cual se resalta:
  - Descripción general de las actividades del proyecto.
  - Metodología de Línea de Base.
  - Duración de la actividad del proyecto/período de crédito.
  - Metodología y plan de control.
  - Cálculo de emisiones e impactos ambientales.
2. **Validación y Registro:** Proceso de evaluación independiente del proyecto (Entidad Operacional Designada EOD), la cual debe verificar el cumplimiento de los parámetros de diseño.
3. **Control:** Acumulación y archivo de datos necesarios para estimar o medir emisiones, determinar la línea base, documentación sobre impactos ambientales, garantía de calidad y procedimientos de control.
4. **Verificación y Certificación:** Después que la EOD complete su revisión del reporte de control y

verifique que la reducción de emisiones es real, esta hace una solicitud formal a la Junta Ejecutiva JE para que publique el Certificado de Reducciones de Emisión.

5. **Publicación Oficial del Certificado de Reducciones de Emisión:** Constituye la respuesta de la JE para la publicación oficial de Certificados de Reducciones de Emisiones (CRE)

Por tanto, el MDL ofrece la oportunidad perfecta para Colombia para la realización de proyectos apoyados con inversión extranjera, estudio y aplicación de tecnologías actuales más eficientes, además de la promoción del desarrollo sostenible como bandera en todos los sectores de la economía; como muestra, actualmente existen 35 proyectos registrados en Colombia que permiten la reducción de emisiones, de los cuales 6 están en revisión para ingresar al MDL [1,7].

En Colombia, el sector residuos tiene un gran potencial en el MDL, con proyectos de tratamiento de aguas residuales y similares, registran un potencial de reducción de emisiones de 2.400.152 TonCO<sub>2</sub>e/año, mientras el sector energía presenta un potencial de 2.256.348TonCO<sub>2</sub>e/año.

El 69% de los proyectos potenciales en el Sector Residuos pertenece a Rellenos Sanitarios (18), entonces el potencial de generación de energía en estos es creciente pues en el proceso de adecuación que se planea pueden incluirse etapas de generación de energía que aumentarían la cantidad de Reducción de Emisiones y a su vez la confianza inversionista para este tipo de proyectos [7].

La solución al problema económico de muchos proyectos parece encontrar una buena alternativa en el MDL. Esta solución es interesante y consistente para países como Colombia que cuenta con buenas relaciones con países industrializados que tienen la latente necesidad de cumplir con los protocolos internacionales. Sin embargo, el camino no es fácil, pues los proyectos deben contar con un sustento lo suficientemente fuerte para poder

ser revisados por la junta MDL. La investigación dedicada y la posición privilegiada de Colombia la convierten en una candidata idónea para acceder a estos créditos especiales.

#### 4. CASO DE ESTUDIO: GEERSA

Para ilustrar la posible aplicación del modelo MDL en Colombia, se planteo un caso de estudio académico, concebido al interior de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales y ha sido discutido en varios espacios académicos, como por ejemplo, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Magdalena y en el GESTEC 2010. En dicho proyecto se planifica la implementación de un sistema de generación eléctrica a partir de un relleno sanitario. El proyecto fue denominado por sus autores como GEERSA.

El desarrollo del proyecto consiste en brindar las herramientas necesarias, incluyendo resultados de investigación científica y de pruebas piloto que permitan la futura implementación de un sistema de generación de electricidad alternativo y revolucionario para Colombia, el cual consiste en el aprovechamiento de los gases emanados por los residuos sólidos ubicados en un relleno sanitario.

Para la formulación del proyecto se asumieron algunas especificaciones como el consumo final de la planta de generación y el tipo de clasificación de desechos que se realiza al interior del relleno.

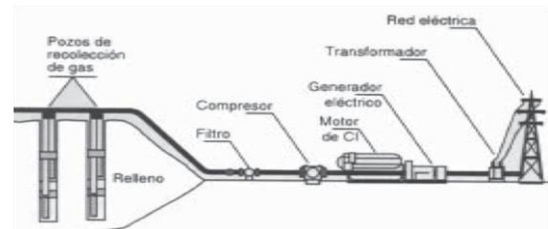
El proyecto contempla además de la generación de energía eléctrica, otros beneficios adicionales. Por ejemplo, GEERSA contribuye con la implementación de políticas de reciclaje serias y compartidas que por un lado facilitan la adecuada realización del proyecto y por otro lado ayuda a la conservación ecológica comunitaria y a la generación alterna de recursos. La promoción de la conciencia ecológica, tema actual de discusión permanente, permitirá que la comunidad beneficiada sea reconocida como pionera en el manejo adecuado de residuos tanto orgánicos como inorgánicos. Uno de los principales pasos para la realización del proyecto es el estudio preliminar del terreno en el cual se piensa trabajar, pues es claro que un proyecto de este tipo no puede desarrollarse en cualquier relleno sanitario pues este debe cumplir con condiciones climáticas favorables, tamaño y disposición adecuada entre otros; seguido de esto, la aceptación, inclusión y participación de la comunidad

afectada es clave, pues es común que en iniciativas de este tipo exista cierta resistencia de los pobladores cercanos, por lo que la difusión debe realizarse ampliamente mediante foros, conversatorios, publicaciones, etc.

La disminución de la carga contaminante, la eliminación de malos olores, además de una reducción de aproximadamente 40% del kWh comparado con una forma tradicional de generación de energía son otros de los beneficios asociados al proyecto GEERSA.

Es importante resaltar que el metano es uno de los principales gases de efecto invernadero y que su emanación a la atmosfera es constante, pues en un país como México este gas aporta el 23% de emisiones de este tipo, por lo que el tratamiento de este para convertirlo en biogás es altamente amigable con el medio ambiente.

El proceso propuesto para la generación de energía se ilustra en la figura 2 y se explica a continuación.



**Figura 2.** Proceso de generación de electricidad en un relleno sanitario

1. Para la recolección de gas se pueden utilizar múltiples métodos, siendo el más adecuado la utilización de biodigestores, dispositivo en el cual se introducen los residuos previamente seleccionados y se encarga de convertir el metano (principal gas emanado por los residuos) en biogás, el cual es al final el que se utiliza para generar la energía.
2. Después de producido el biogás, este se debe transportar hasta la zona de generación, para lo cual se utilizan filtros y compresores, dependiendo del recorrido que deba realizar este; en este proceso se adecua el biogás para su combustión, es decir, se le extrae la humedad y otras sustancias indeseables.

3. El biogás se quema en un motor de combustión interna que esta conectado a un generador, normalmente una máquina sincrónica.
4. Como último paso, es necesario elevar la tensión generada para poder conectarla a la red de transporte de energía para su utilización final.

Aunque el proceso detallado anteriormente sea relativamente sencillo, la implementación del mismo tiene costos elevados. La viabilidad económica del proyecto es el paso crucial y definitivo para la posible implementación del mismo. A continuación se realiza un análisis de los costos de implementación del proyecto, tomando como base la generación de 4.24MW de energía.

Los cuidados de mantenimiento, cuidado forestal (incluyendo regeneraciones periódicas) y el costo de uso del terreno puede ascender a \$650US mensuales.

Los biodigestores, teniendo en cuenta que deben diseñarse y comprarse dependiendo de la zona de instalación (altiplano, valle, trópico, etc) tienen un precio que oscila desde los \$140US hasta \$220US, siendo los más costosos los biodigestores de altiplano; la instalación de estos, que debe ser realizada por personas con la suficiente experiencia en esta clase de obras puede ascender a \$800US por biodigestor.

En el inicio del proyecto, entendiéndose este como etapa de pre-planeación y teniendo en cuenta que en Colombia el costo de un Ingeniero está entre los \$700US mensuales, se puede estimar que el total en el inicio podría ser de \$8,000US, incluyendo recurso humano, costo de materiales y arrendamiento de locales.

Ahora bien, los costos de implementación del proyecto son elevados. La tabla 1 muestra el costo total estimado para la ejecución del proyecto, discriminado en gastos mayores es de \$2,471,875US.

Inversionistas públicos y privados coinciden en tomar con mucha cautela una eventual participación en el proyecto, debido a los desalentadores indicadores financieros. Con este escenario por delante, se deben explorar otros tipos de mecanismos para poder llevar a cabo el proyecto GEERSA.

Descripción	Costo
Motogeneradores	\$1,335,000US
Transformadores	\$65,000US
Impuestos y fletes	\$30,000US
Subestación	\$200,000US
Sistema de extracción de biogás	\$265,000US
Instalación Eléctrica	\$82,500US
Instalación civil y mecánica	\$25,000US
Imprevistos	\$100,000US
EPC	\$315,375US
<b>TOTAL</b>	<b>\$2,417,875US</b>

**Tabla 1.** Resumen de costos

Los resultados esperados del proyecto son muchos. A continuación se resumen los principales beneficios:

1. El biogás que se va a destruir equivale a 3 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, por tanto, se dejarán de emitir gases similares a retirar más de 150,000 automóviles de circulación.
2. Los más de 94 millones de kWh que se producirán anualmente son equivalentes al consumo de más de 25,000 casas de interés social al año.
3. El biogás emitido requeriría de plantar más de 1,500 hectáreas de árboles.
4. La energía que produciría la planta es capaz de abastecer casi el 80% del alumbrado público, teniendo por esto un ahorro por concepto de descuento en alumbrado público y energía edificaciones estatales, de más de \$1,500,000US al año.
5. La economía de generación con el biogás de rellenos sanitarios depende fuertemente de las inversiones que para ello deban hacerse. Si el relleno ya existe, las inversiones consideran la perforación de los pozos de extracción, la construcción de la red de recolección, de la planta de tratamiento del gas y del bloque de potencia. En tales casos, los costos de generación se estiman entre tres y seis centavos de dólar por kWh.

Colombia tiene un gran potencial en biogás y biomasa de residuos agrícolas, alcanzando con este último un 0.1% de la producción de energía eléctrica anual (16GWh), este potencial se discrimina como sigue:

- 11,828 MWh/año de residuos agrícolas.
- 1,649 MWh/año de bioetanol.
- 698 MWh/año de residuos de reservas forestales.
- 658 MWh/año de biodiesel.
- 442 MWh/año de residuos de bosques plantados.

Además, se estima que 85,000 toneladas al año de siembra de café pueden producir 190 millones de metros cúbicos de biogás, equivalente a 995,000 MWh.

Para el análisis de retorno de inversión, se toma un periodo de 5 años en el cual se mira si la inversión se puede recuperar.

Al 5 año se pretende una ganancia de \$132,000 US por generar 47 MWh/año.

Dentro de las alternativas de financiación, se considera como una opción interesante aplicar a un apoyo internacional bajo la figura de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

## 5. CONCLUSIONES

- Las limitaciones financieras de proyectos tecnológicos verdes que se conciben en países en desarrollo pueden ser resueltas a través de mecanismos de cooperación internacional como el que brinda el protocolo de Kioto con el MDL.
- Colombia tiene un gran potencial de reducción de emisiones, por lo tanto, es un buen escenario para la aplicación del MDL. El proyecto caso de estudio GEERSA es ideal para el MDL, ya que solo un 2% de proyectos que se relacionan con proyectos sanitarios se relacionan a su vez con proyectos de generación de energía.
- El proceso para que un proyecto sea aprobado por la junta MDL es complejo. Los proyectos deben ser rigurosamente sustentados ante la junta MDL y deben comprometerse a cumplir con los resultados esperados. Sin embargo, el potencial

humano y ambiental con que cuenta Colombia debe ser aprovechado en proyectos de este tipo.

- Es necesario consolidar lazos de cooperación entre estamentos gubernamentales, la academia y las empresas de servicios públicos para brindar el soporte necesario a un proyecto ejecutado en el marco del MDL.

## 6. REFERENCIAS

- [1] Portafolio MDL en Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- [2] Oportus S. Claudio, "Fundamentos teóricos y diseño de una estrategia para la implementación de la ingeniería concurrente modelo de aplicación para la industria nacional", Santiago, universidad de Santiago, Chile, 1995.
- [3] Kogan, Lawrence A. (June 2002). "The U.S. Response to the Kyoto Protocol – A Realistic Alternative?". *The Whitehead Journal of Diplomacy and International Relations*, Volume III, Number 2.
- [4] World Bank (2008). "Development and Climate Change: A Strategic Framework for the World Bank Group: Technical Report". The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. 1818 H Street, NW, Washington, DC 20433.
- [5] Grubb, M. (July-September 2003). "The Economics of the Kyoto Protocol". *World Economics* 4 (3): 143–189.
- [6] Flint Shannon, "Mecanismo de Desarrollo Limpio – Identificación de Proyecto", 2002.
- [7] Pembina Institute for Appropriate Development, A User's Guide to the Clean Development Mechanism, June 2002.