

1

Análisis de causalidad y sensibilidad entre precios de  
Allowances Europeos y CER de Mecanismos de  
Desarrollo Limpio en el mercado Europeo de Transacción  
de Emisiones EU-ETS

Trabajo de Grado presentado por

CAROL ANDREA PERUGACHE RODRÍGUEZ

A

Pontificia Universidad Javeriana  
Facultad de ciencias económicas y administrativas  
maestría en economía

Bajo la dirección de  
JHON ALEXANDER MÉNDEZ SAYAGO

En cumplimiento parcial de los requisitos para optar el grado de Magistra  
en Economía

Bogotá, 2011

© 2011, Carol Andrea Perugache Rodríguez  
Todos los derechos reservados

## RESUMEN

En el marco del Protocolo de Kioto se desarrolla el análisis de causalidad y sensibilidad entre precios de Allowances Europeos (derechos de emisión) y CER de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) en el mercado Europeo de Transacción de Emisiones EU-ETS. Con base en la información de los precios diarios de la bolsa de carbono European Climate Exchange (ECX), actor principal del mercado bilateral organizado de bonos, se genera un modelo de vectores autoregresivos que permite determinar la influencia de choques en el mercado de derechos de emisión sobre el precio de los CERs de MDL. Esta información y el análisis del proceso aplicado en Colombia, es útil para el desarrollo de iniciativas que promuevan el desarrollo sostenible en los países más pobres a través de la generación de proyectos MDL y contribuye la toma de decisiones antes de acordar una posición, debido a que brinda algún nivel de certeza sobre la evolución futura de los precios de los CER.

## SUMMARY

Using the framework of the Kyoto Protocol, an analysis has been developed concerning the causality and sensitivity between European Allowance prices (emission rights) and the CDM (Clean Development Mechanism) in the Emissions Trading System EU-ETS market. Based on daily stock exchange prices for carbon from the European Climate Exchange (ECX), the principal actor in the bilateral market organized by bonds, an autoregressive vectors model has been developed which allows to determine the impact of clashes in the emissions rights market over the price of the CDMs in the ETS. This information and the analysis of the process applied to Colombia are useful insofar as they can be used to develop initiatives that promote sustainable development in poor countries through the generation of ETS projects and because they contribute to decision making before a fixed position has been agreed upon, due to the fact that they provide a certain level of certainty regarding the future evolution of CDM prices.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	6
I. PROTOCOLO DE KIOTO .....	9
1.1 Mecanismos de flexibilidad del Protocolo de Kioto .....	10
1.1.1 Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) .....	10
1.1.2 Mecanismo de Implementación Conjunta (IC) .....	12
1.1.3 Comercio Internacional de Emisiones (CIE) .....	12
2 EL MERCADO DE BONOS DE CARBONO .....	14
2.1 TIPOS DE MERCADO .....	14
2.2 MERCADO EUROPEO DE TRANSACCIÓN DE EMISIONES (EU-ETS).....	16
2.2.1 Funcionamiento del EU-ETS .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.2.2 Tipos básicos de contratos .....	18
3 PERMISOS DE EMISIÓN NEGOCIABLES .....	21
3.1 Análisis de Costo eficiencia en el mercado de permisos .....	21
3.2 Equilibrio en el Mercado Europeo de Bonos de Carbono.....	24
4 MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO Y SU IMPACTO EN COLOMBIA .....	26
4.1 Requisitos de un proyecto de MDL .....	26
4.2 Ciclo de un proyecto de MDL.....	28
4.3 Riesgos de los Proyectos de MDL .....	30
4.4 Mecanismo de desarrollo limpio en Colombia .....	32
5 ANÁLISIS DE LOS DATOS .....	37
5.1 Estacionariedad .....	39
5.1.1 Estabilidad de la varianza.....	39
5.1.2 Pruebas de raíz unitaria .....	40
5.1.3 5.2 Análisis de cointegración .....	41
6 ESTIMACIÓN DEL MODELO DE VARX.....	45
6.1 Contabilidad de innovaciones .....	46
6.2 Prueba de Causalidad de Granger .....	49
6.2.1 <b><math>\Delta</math>ICER</b> no causa Granger a <b><math>\Delta</math>IEUA</b> .....	49
6.2.2 <b><math>\Delta</math>IEUA</b> no causa Granger a <b><math>\Delta</math>ICER</b> .....	50
7 CONCLUSIONES .....	54
8 BIBLIOGRAFIA .....	57
ANEXOS .....	59
ANEXO 1.....	59
Países del anexo B del Protocolo de kioto .....	59
ANEXO 2.....	60
CORRELOGRAMAS .....	62
Función de correlación cruzada .....	63
ANEXO 6.....	64
ANEXO 7.....	66
ANEXO 8.....	67
ANEXO 9.....	68
ANEXO 10.....	69

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Mercados del Carbono .....	16
Cuadro 2. Información general del MDL en Colombia.....	34

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Toma de decisiones de Compliance Buyers.....	19
Gráfico 2. Funcionamiento del mercado de PEN.....	24
Gráfico 3. Requisito de adicionalidad.....	27
Gráfico 4. Composición por origen de los Proyectos de MDL registrados ante la JE 15.10.2010.....	33
Gráfico 5. Composición por origen de los CER de MDL emitidos - 15.10.2010 .....	33
Gráfico 6. Precios de Allowances (EUA), CER y Spread.....	39
Gráfico 7. Precio del petróleo Brent.....	39
Gráfico 8. Diagrama Rango-Media EUA.....	40
Gráfico 9. Diagrama Rango-Media EUA.....	40
Gráfico 10. Funciones de Impulso Respuesta.....	49

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Determinación del parámetro $\lambda$ de la transformación Box-Cox.....	41
Tabla 2. Prueba ADF – Logaritmos de los precios.....	42
Tabla 3. Prueba de Cointegración. La ecuación de cointegración presenta intercepto.....	43
Tabla 4. Prueba de Cointegración. La ecuación de cointegración presenta intercepto y tendencia lineal.....	44
Tabla 5. Prueba de Cointegración. La ecuación de cointegración presenta intercepto más tendencia lineal y cuadrática.....	44
Tabla 6. Prueba ADF – Primera diferencia de los logaritmos de los precios.....	45
Tabla 7. Descomposición de varianza.....	49
Tabla 8. Regresión Auxiliar para $\Delta IEUA$ de la prueba de Causalidad de Granger.....	50
Tabla 9. Regresión Auxiliar para $\Delta ICER$ de la prueba de Causalidad de Granger.....	51

## INTRODUCCIÓN

La preocupación de la comunidad internacional por los efectos del calentamiento global, resultado de las emisiones de gases contaminantes a la atmosfera, condujo a un acuerdo que se desarrolló dentro la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, denominado Protocolo de Kioto, en el cual se establecen compromisos cuantificados de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero para los países desarrollados firmantes.

En el Protocolo de Kioto los países industrializados y las economías en transición (listados como países Anexo B) asumen el compromiso de reducir alrededor de 5% sus emisiones nacionales anuales de gases de efecto invernadero respecto a los niveles emitidos en 1990. Dichas reducciones deben concretarse para el primer período de compromiso comprendido entre 2008-2012. El acuerdo no establece ningún compromiso de reducción de emisiones para los países en vías de desarrollo, conocidos como países no-Anexo B en la nomenclatura del Protocolo.

Anexos al Protocolo de Kioto se encuentran los llamados mecanismos de flexibilidad, que tienen como propósito facilitar el cumplimiento de las metas de reducción de emisiones de los países desarrollados. Estos instrumentos complementarios consisten en tres modalidades diferentes: Comercio Internacional de Emisiones (CIE), Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y Mecanismo de Implementación Conjunta (IC). Los dos últimos, son denominados mecanismos basados en proyectos, debido a que las unidades de reducción de las emisiones resultan de la inversión en proyectos, adicionales ambientalmente, encaminados a reducir las emisiones antropógenas por las fuentes, o a incrementar la absorción antropógenas por los sumideros de los gases de efecto invernadero.

El Comercio Internacional de Emisiones permite la compra venta de derechos de emisión creados y asignados entre los países miembros del Anexo B. Esos derechos representan cantidades de emisión que se pueden liberar sin exceder los compromisos de reducción establecidos.

Colombia como país en desarrollo, no tiene compromisos de reducción de emisiones dentro del Protocolo de Kioto, por tanto, no se le han asignado derechos de emisión y no está habilitado para participar en el comercio de emisiones. La participación en el acuerdo de los países en desarrollo como Colombia se limita a la formulación y ejecución de proyectos de mecanismo de desarrollo limpio que contribuyan a la reducción de gases de efecto invernadero. Esta posibilidad genera un potencial aumento en el ingreso de los países en desarrollo, a través de la venta de Certificados

de Reducción de Emisiones de Carbono (CER) de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL).

Un Certificado de Reducción de Emisiones de Carbono de Mecanismos de Desarrollo Limpio equivale a una tonelada de CO<sub>2</sub> reducida en la atmósfera; esto implica que ser dueño de 1 CER de MDL otorga el derecho a contaminar una tonelada de CO<sub>2</sub>. Siendo los CER sustitutos cuasi perfectos de los Allowances (derechos de emisión), es lógico pensar que comparten un mercado común y que sus precios guarden una estrecha relación que pueda ser explotada en la administración de proyectos de MDL o de portafolios. En este sentido, las preguntas que pretende resolver el trabajo de grado de grado son las siguientes:

- ¿Hay relación de largo plazo entre precios de Allowances Europeos y CER de Mecanismos de desarrollo limpio?
- ¿Cuál es la dirección de la causalidad (si existe) entre precios de Allowances Europeos y CER de Mecanismos de desarrollo limpio?
- ¿Cuál es la persistencia de la respuesta de un precio ante un choque exógeno en el otro? ¿Hay estabilidad en el sistema?
- ¿Cómo se desarrolla el proceso de aprobación de los proyectos de MDL en Colombia?, ¿cuáles son sus condiciones, riesgos asociados y que incentivos de política pública existen?

Los desarrollos del trabajo de grado estarán basados en la información de los precios diarios de la bolsa de carbono European Climate Exchange (ECX), actor principal del mercado bilateral organizado, perteneciente al mercado secundario de bonos del carbono (Restrepo, Tobón, Flores, 2008).

En el mercado secundario se transan CER ya emitidos, y sus precios son excelentes indicadores del valor de los CER de un proyecto MDL maduro, a punto de generar CERs. No se tienen en cuenta precios de CER “primarios” (antes de ser registrados o emitidos), porque son precios muy heterogéneos y relacionados específicamente al nivel de desarrollo del proceso aprobatorio MDL y a los riesgos propios de cada proyecto (financieros, administrativos, de seguridad, etc.) (Black, 2008).

El análisis de los precios del mercado secundario, que fija el precio de referencia de los CER, es importante para la toma de decisiones de los dueños de los proyectos de MDL. Los inversionistas deben decidir vender los CER antes de que sean emitidos, durante el proceso de aprobación ó después de ser emitidos. En el primer caso, el precio de venta será fuertemente descontado del precio de referencia (precios del

mercado secundario), por los riesgos de no-aprobación y los riesgos del proyecto (financieros, administrativos, etc.).

Los dueños de proyectos de MDL con CER ya emitidos tienen la libertad de venderlos de dos formas básicamente: al precio Spot del momento, si ese precio está demasiado bajo pueden esperar y venderlos a empresas que los usarán para cumplir sus compromisos de acuerdo con el plan de asignación en su país, tomando en cuenta el precio de los Futuros.

El análisis del mercado de bonos de carbono a través de un modelo de vectores autoregresivos, permite determinar la influencia de choques en el mercado de derechos de emisión sobre el precio de los CERs de MDL. Esta información es de gran utilidad para dueños de los proyectos MDL, ya que tendrán algún nivel de certeza sobre la evolución futura de los precios de los CER, antes de acordar una posición corta.

El documento está organizado de la siguiente forma: en el primer capítulo se introduce el Protocolo de Kioto y sus Mecanismos de Flexibilidad. En el segundo capítulo se tratan los mercados del carbono, especialmente el Mercado Europeo de Transacción de Emisiones. En el capítulo 3 se analiza el mercado del carbono desde la perspectiva teórica de los permisos de emisión negociables. En el capítulo cuatro se profundiza en el Mecanismo de Desarrollo Limpio y su impacto en Colombia. En el capítulo 6 se realiza el análisis preliminar de los datos y en el capítulo 7 se presentan los resultados de la estimación del modelo VAR, para posteriormente presentar las conclusiones.



## I. PROTOCOLO DE KIOTO (PK)

En los últimos cien años, la concentración de gases de efecto invernadero<sup>1</sup> ha aumentando debido a una mayor actividad industrial, agrícola y del transporte, que incrementa principalmente el uso de combustibles fósiles. La acumulación de estos gases conocidos como de efecto invernadero (GEI), retiene el calor en la atmósfera, lo que impide que la radiación de la superficie terrestre sea liberada hacia el espacio exterior. Como consecuencia se está generando un proceso de calentamiento global (aumento de la temperatura media de la Tierra), poniendo en peligro el frágil balance de temperaturas de nuestro medio ambiente habitable, incidiendo negativamente en el desarrollo humano, el crecimiento económico, el entorno ambiental y la situación de pobreza y miseria mundial.

Entre los posibles impactos del cambio climático sobre los sistemas naturales y humanos se señalan: la reducción general del rendimiento posible de las cosechas en la mayoría de las regiones tropicales, subtropicales y en latitudes medias. Las sequías y menor disponibilidad de agua en regiones subtropicales. Un aumento del número de personas expuestas a enfermedades como el dengue, el paludismo, el cólera y las afecciones gastrointestinales y cardiorespiratorias. Mayor riesgo de inundaciones, deslizamientos, avalanchas y huracanes en diversos asentamientos humanos. Incremento de la demanda de energía para acondicionamiento de locales. Un aumento del estrés por el calor en el ganado y la fauna silvestre. Mayor presión hacia el gobierno y el sistema asegurador privado por efecto de catástrofes naturales y auxilios (Yábar, 2008).

La comunidad internacional ha reaccionado ante ésta problemática, implementando dos instrumentos jurídicos: la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y el Protocolo de Kioto (PK). La comisión es el organismo de la ONU encargado de conseguir un acuerdo entre naciones, sobre los modos de mitigación del cambio climático (por ejemplo, el Protocolo de Kioto). La CMNUCC establece un procedimiento permanente de examen, debate e intercambio de información, que permite asumir compromisos adicionales en respuesta a los cambios que se produzcan en la comprensión científica de los problemas relacionados con el cambio climático y en la voluntad política existente.

---

<sup>1</sup> Los gases de efecto invernadero (GEI), son de origen natural y antropogénico. El vapor de agua (H<sub>2</sub>O), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el dióxido de nitrógeno (N<sub>2</sub>O), el metano (CH<sub>4</sub>) y el ozono (O<sub>3</sub>) son algunos de los principales GEI. Recientemente, se han incorporado a la atmósfera algunos GEI producidos exclusivamente por el hombre; por ejemplo: clorofluorocarbono (CFC), hidrofluorocarbono (HFC), hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>).

El Protocolo de Kioto (PK) es un acuerdo formal, donde se establecieron, por primera vez, metas de reducción de emisiones netas de gases efecto invernadero (GEI) para los principales países desarrollados y las economías en transición; así mismo, desarrolla y dota de contenido concreto las prescripciones genéricas de la Convención. En el acuerdo los países industrializados y en economías en transición (Listados como países anexo B del protocolo)<sup>2</sup>, se comprometieron a reducir sus emisiones de GEI en al menos un 5.2% en promedio con respecto a los niveles de 1990, dicha reducción debería conseguirse durante el período 2008-2012. El PK no establece ningún compromiso de reducción de emisiones para los países en vía de desarrollo, conocidos como países no – anexo B.

En el **anexo 1** de este documento aparece la lista de países del Anexo B del PK, con sus respectivos compromisos de reducción de emisiones. Los compromisos equivalen a un *tope de de emisiones* expresado en términos de las emisiones del año base (1992).

### **1.1 Mecanismos de flexibilidad del Protocolo de Kioto**

Los mecanismos del PK son un conjunto de instrumentos económicos que tienen como propósito hacer más flexible la forma en que los países del Anexo B, pueden cumplir con sus compromisos de reducción de GEI y atenuar sus costos de reducción de emisiones; a la vez que apoyan el crecimiento sostenible, a través de la transferencia de tecnologías de reducción más limpias.

Los tres mecanismos de flexibilidad incorporados al PK son fórmulas determinadas de introducir y/o potenciar el juego del mercado a escala internacional, para el mejor cumplimiento de los compromisos cuantitativos adquiridos por las Partes en materia de limitación de los GEI, de modo que su obtención sea costo-efectiva en relación con dichos compromisos; es decir, de modo que aquellos sean alcanzados al menor costo económico posible (Yábar, 2001).

Los instrumentos son los siguientes: Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), Mecanismo de Implementación Conjunta (IC) y Comercio Internacional de Emisiones (CIE). A continuación se presenta una breve descripción del funcionamiento y propósito los mecanismos, y los países que pueden participar, de acuerdo con su clasificación en el PK.

#### **1.1.1 Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)**

Este mecanismo, está regulado fundamentalmente por el Artículo 12 del Protocolo de Kioto, los acuerdos de Marrakech y las decisiones y recomendaciones adoptadas o que

---

<sup>2</sup> Los países del Anexo B del PK son la mayoría de los países del Anexo I de la convención.

adopte la Junta Ejecutiva del MDL. Es un mecanismo por medio del cual un país industrializado, País “A” invierte en un proyecto de reducción de emisiones en un país en desarrollo, País “B”. En pago, el país “A” recibe certificados de reducción de emisiones (CER) basados en el rendimiento del proyecto.

El propósito de este mecanismo es ayudar a que las partes no incluidas en el Anexo B, sumen esfuerzos para lograr un desarrollo sostenible y disminuyan sus niveles de emisión de gases efecto invernadero (GEI); así mismo, lo utilicen como un instrumento financiero con dos objetivos específicos: el primero, lograr que los países desarrollados cumplan con sus compromisos de mitigación al menor costo posible, y el segundo, contribuir a promover el desarrollo sostenible en los países en vía de desarrollo.

Los países industrializados a través del Estado o la empresa privada, invierten en proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero ubicados en países en desarrollo. Los países en desarrollo pueden ejecutar sus proyectos con recursos públicos ó en forma independiente. El país industrializado inversionista, puede descontar de sus obligaciones de Kioto las reducciones logradas en el país contraparte en el proyecto; no obstante, el país en desarrollo también puede vender los certificados de reducción directamente a los países industrializados.

Las unidades de negociación asociada a los proyectos del MDL son diferentes según la temporalidad del certificado de reducción, diferenciándose en tres unidades de Kioto:

- *CERs* (Certified Emission Reduction), se expiden a los proyectos que reducen las emisiones. Un CER equivale a una tonelada de CO<sub>2</sub> reducida en la atmósfera como consecuencia de un proyecto de MDL. Los CERs son plena y libremente comercializables por sus titulares, durante o después de su emisión.
- los *tCERs* (Temporary Certified Emission Reductions) es la cantidad total de carbono secuestrado (neto de base) desde que se inició el proyecto (por sumideros), cada *tCER* expira al final del período de compromiso posterior al período para el que se expidió.
- *ICERs* (Long-Term Certified Emission Reductions) puede ser expedido para los proyectos que mejoren la absorción a través de la forestación y proyectos de reforestación. Expiran al final del período de acreditación, y su validez máxima es de 60 años.

Tanto los *tCERs* como los *ICERs* tienen la característica de no permanencia, asociada a los proyectos de actividades de sumideros, forestación y reforestación, y ambos certificados sólo pueden utilizarse para el cumplimiento en el período de compromiso en el cual fueron expedidos.

### **1.1.2 Mecanismo de Implementación Conjunta (IC)**

Este elemento está regulado por el Artículo 6 del Protocolo de Kioto. La Implementación Conjunta (IC), es un mecanismo mediante el cual los países del Anexo I financian proyectos de reducción de emisiones o de fijación de carbono en los países en transición (hacia una economía de mercado), quienes también están incluidos en el Anexo I, a través de la compra de ERUs (Unidades de reducción de emisiones) generados por dichos proyectos.

Las Unidades de reducción de emisiones (ERUs) son descontadas de las unidades de emisión asignadas al país inversor. De ese modo el país que financia el proyecto obtiene unidades de reducción a un precio inferior al que le habría costado en su país de origen y el país receptor se beneficia de las inversiones realizadas en el mismo.

Los proyectos de este tipo incluyen tanto los de reducción de emisiones como los de absorción de emisiones (mejora de sumideros, como lo son los bosques). En la práctica implica un intercambio de reducción de emisiones entre países desarrollados y países en transición hacia la economía de mercado.

Estos proyectos deben cumplir con los siguientes requisitos: *i) aprobación por los Estados*, estos deben ser aprobados por las partes participantes; *ii) adicionalidad*, deben demostrar que esa reducción de emisiones no se produciría sin la ejecución de un proyecto; *iii) Países cumplidores*, los proyectos no están al alcance de los países que no hayan cumplido con las obligaciones impuestas por el Protocolo de Kioto (Plan Nacional, información de reserva, etc.); *iv) suplementariedad*, no se debe reemplazar el esfuerzo de los países para cumplir con sus compromisos.

Para el cumplimiento de este mecanismo, se establece que las Partes del Anexo B que deseen participar deben cumplir con unos requisitos de información sobre los inventarios de gases efecto invernadero, de las medidas internas tomadas, etc. Ya que con esta información, el grupo de aplicación del mecanismo de cumplimiento decidirá si las partes son aptas para su participación. Los proyectos, además deberán demostrar que la reducción de emisiones no se produciría sin la existencia del mismo.

### **1.1.3 Comercio Internacional de Emisiones (CIE)**

Este componente es regulado por el Artículo 17 del Protocolo de Kioto. El Comercio Internacional de Emisiones (CIE) es un mecanismo de flexibilidad que faculta la compra-venta de Unidades de Cantidades Asignadas (AAUs) entre países del Anexo I, y por medio del cual, se pretende alcanzar la reducción de emisiones de gases efecto invernadero al menor costo social posible, e impulsar la inversión en investigación, innovación y mejora tecnológica. Este mecanismo se basa en los Permisos de Emisión

Transferibles (PET) que forman parte de la teoría económica de la economía ambiental.

A diferencia de los Mecanismos de Desarrollo limpio y de Implementación conjunta, el Comercio Internacional de Emisiones no está configurado sobre la base de los proyectos, sino en términos de la existencia de un mercado de permisos de emisión. El mercado está conformado por los países firmantes del Anexo B del acuerdo de Kioto. Los demandantes son los países cuyo costo marginal de reducir las emisiones fuese más alto y los oferentes, los restantes países desarrollados y economías en transición, en los que dicho costo marginal de la reducción de emisiones es menor.

El comercio de derechos de emisión no reduce por sí mismo las emisiones, sino que puede suponer una redistribución de las emisiones entre los países industrializados. Una Parte podrá adquirir un número ilimitado de unidades de conformidad con el artículo 17 del protocolo. Sin embargo, el número de unidades que una Parte puede transferir a otras es limitado.

## 2 EL MERCADO DE BONOS DE CARBONO

El mercado del carbono es el mercado resultante de la venta y compra de permisos de emisión y créditos por reducción de emisiones. El mercado de carbono es una vía complementaria, alternativa y costo efectivo para que países, empresas e individuos cumplan con sus compromisos de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero que causan el cambio climático.

“Junto con el Protocolo de Kioto surgió el mercado de carbono, que puede entenderse como el conjunto de condiciones políticas, sociales y económicas que han dado lugar a la creciente demanda, oferta y posterior comercialización de reducciones de emisiones, cuya creación generó oportunidades económicas para muchos países industrializados y no industrializados” (Godoy, 2008).

El mercado del carbono es un mercado emergente, complejo y segmentado. En él coexisten y compiten, dos familias de productos con diferentes atributos: *los permisos de emisión y las unidades de reducción de emisiones*, de distintas características y orígenes. Por su parte, hay mercados primarios y secundarios, ventas “spot” y a futuro, lo que conduce a la formación de diversos precios. Se trata de un mercado estrechamente determinado por normas, en el que la demanda y la oferta constituyen además fuerzas desiguales (Godoy, 2008).

El término “bonos de carbono” es un nombre genérico que se ha dado a un conjunto de instrumentos que pueden generarse por diversas actividades de reducción de emisiones. Así, se puede decir que existen diversos tipos de bonos de carbono, dependiendo de la forma en que éstos fueron generados: *Certificados de Reducción de Emisiones (CERs)*, *Unidades de Cantidades asignadas (AAUs)*, *Unidades de Reducción de Emisiones (ERUs)* y *Unidades de Remoción de Emisiones<sup>3</sup> (RMUs)*.

### 2.1 TIPOS DE MERCADO

Existen dos principales tipos de mercado para el carbono: *Los mercados de cumplimiento, y los mercados voluntarios*. En los mercados de cumplimiento, una autoridad regulatoria fija límites al número de tCO<sub>2</sub> (toneladas de CO<sub>2</sub>) que pueden

---

<sup>3</sup> Corresponde a créditos obtenidos por un país durante proyectos de captura de carbono. Estas unidades o créditos solamente pueden ser obtenidas por países del Anexo I del Protocolo de Kioto y pueden obtenerse también en proyectos de Implementación Conjunta. Las Unidades de Remoción de Emisiones solamente pueden ser usadas por los países dentro del período de compromiso durante el cual fueron generadas, y son para cumplir con sus compromisos de reducción de emisiones. Estos créditos no pueden ser considerados en períodos de compromiso posteriores.

ser emitidas durante cierto periodo; a la vez entrega (o vende) permisos de Unidades de Cantidades Asignadas (AAU) para la emisión de tCO<sub>2</sub> durante ese periodo. Estos permisos son negociados (comprados y vendidos) entre las partes que deben cumplir sus compromisos, dándole así fluidez al intercambio de CO<sub>2</sub>. Los mercados de cumplimiento están regulados por regímenes obligatorios de reducción de carbono, ya sean nacionales, regionales o internacionales.

Para cumplir con sus límites de emisión, las empresas en un mercado de cumplimiento también pueden adquirir otros tipos de bonos de carbono, entre los que se destacan los Certificados de Reducción de emisiones (CERs), como los bonos de carbono más transados después de los permisos. El mercado de los CERs de MDL se divide en: un *Mercado Primario de CER*, que involucra una primera compra/venta de las reducciones de emisiones, a partir de proyectos específicos de MDL; un *Mercado Secundario de CER* que involucra transacciones que ya se han dado una primera vez en el mercado primario, además de un *Mercado de Opciones*, pequeño pero en crecimiento, y un incipiente *Mercado de CER Post 2012* en ciernes (Cavallucci, 2009).

Los mercados voluntarios (MV) son esquemas que se han dado principalmente en países que no han ratificado el Protocolo de Kioto. Incluye todos aquellos intercambios de compensaciones de carbono que no son exigidos por ley. En los Mercados Voluntarios (MV) los individuos y las organizaciones deciden libremente compensar las emisiones de GEI asociadas a sus actividades productivas, es decir, suplir sus externalidades negativas. La demanda voluntaria de activos de carbono proviene de empresas, autoridades públicas y ONGs que están dispuestas a controlar sus emisiones, ya sea con el fin de sumar un valor añadido a su imagen, para prepararse para la entrada en vigencia futura de un esquema de cumplimiento que limite sus emisiones, o solo por contribuir a la lucha contra el calentamiento global.

La unidad de reducción de emisiones que se transa en los mercados voluntarios es denominado crédito VER. No hay aún un estándar global para los VER; su legitimación está a cargo de un variado conjunto de compañías verificadoras que operan en base a diferentes estándares. Por esta razón, los distintos tipos de VER no pueden intercambiarse entre sí, ni con los bonos de carbono. Esto hace que su precio sea inferior respecto a los mercados de cumplimiento, y depende de las exigencias del comprador con respecto a la calidad del proyecto del cual provienen las reducciones (a precios más bajos menores exigencias).

Evidentemente, los mercados de mayor volumen y valor para el carbono son los de cumplimiento, ya que en él se negocian los bonos de carbono que sirven para cumplir los compromisos en los regímenes obligatorios de reducción de carbono.

El cuadro 1 muestra los volúmenes y el valor de negociación de los diferentes tipos de bonos de carbono en los distintos mercados, para los años 2008 y 2009. Del análisis de la tabla se puede descubrir el liderazgo del Mercado Europeo de Transacción de

Emisiones (EU-ETS); el incipiente desarrollo de los mercados voluntarios, que representa poco más del 1% del mercado del carbono, y la caída del mercado primario de CER de MDL entre el año 2008 y 2009.

**Cuadro 1. Mercados de Carbono**

	2008		2009	
	Volume (MtCO <sub>2</sub> e)	Value (US\$ million)	Volume (MtCO <sub>2</sub> e)	Value (US\$ million)
<b>Allowances Markets</b>				
<b>EU ETS</b>	3,093	100,526	6,326	118,474
<b>NSW</b>	31	183	34	117
<b>CCX</b>	69	309	41	50
<b>RGGI</b>	62	198	805	2,179
<b>AAUs</b>	23	276	155	2,003
<b>Subtotal</b>	3,278	101,492	7,362	122,822
<b>Spot &amp; Secondary Kyoto offsets</b>				
<b>Subtotal</b>	1,072	26,277	1,055	17,543
<b>Project-based Transactions</b>				
<b>Primary CDM</b>	404	6,511	211	2,678
<b>JI</b>	25	367	26	354
<b>Voluntary market</b>	57	419	46	338
<b>Subtotal</b>	486	7,297	283	3,370
<b>Total</b>	<b>4,836</b>	<b>135,066</b>	<b>8,700</b>	<b>143,735</b>

Fuente: State and Trends of the Carbon Market 2010, World Bank

## 2.2 MERCADO EUROPEO DE TRANSACCIÓN DE EMISIONES (EU-ETS)

Uno de los principios básicos del programa de Cambio Climático Europeo es reconocer las medidas más eficaces y más rentables para conseguir los objetivos de Kioto. La Unión Europea como parte firmante del acuerdo decidió reducir sus emisiones de forma conjunta en el 8% establecido en el anexo B del Protocolo de Kioto, creando de esta forma la llamada Burbuja Europea, que está reservada para las organizaciones de la integración económica. Bajo estas premisas, en el año 2003 el Consejo de la Comunidad Europea asumió como propósito, establecer un sistema de negociación para los derechos de emisión de GEI, el cual serviría de ayuda para que los estados miembros cumplieran con las metas fijadas por el PK, lo que dio lugar al *Sistema de la Unión Europea de Comercialización de Emisiones (EU – ETS)*.

El *Sistema de la Unión Europea de Comercialización de Emisiones (EU – ETS)* en la actualidad, el mayor mercado de permisos de gases de efecto invernadero. Este régimen obligatorio se apoya en los mecanismos establecidos por el Protocolo de Kioto: el Comercio Internacional de Derechos de Emisión, el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y la Implementación Conjunta (IC), y se ha convertido en el motor de la expansión del mercado internacional del carbono.



El sistema fija un precio por cada tonelada de carbono emitido, fomentando de este modo la inversión en tecnologías de bajas emisiones. Es así, que el principal objetivo del EU-ETS es permitir a la Unión Europea cumplir su compromiso de reducción de emisiones asumidas en el Protocolo de Kioto, a un costo inferior al 0,1% de su PIB, costo considerablemente inferior, a lo esperado por cualquier otro medio. El sistema también es esencial para alcanzar los objetivos de reducción de emisiones europeas para el año 2020, objetivos más ambiciosos que los del protocolo de Kioto.

### **2.2.1 Funcionamiento del sistema de la Unión Europea de Comercialización de Emisiones (EU – ETS)**

El EU-ETS es un sistema en límites máximos e intercambios comerciales (*cap and trade*), esto significa que si las emisiones de una determinada instalación superan el límite máximo establecido por las autoridades de su país, la instalación deberá comprar permisos de emisión en el mercado.

El método impone límites máximos anuales de emisiones de CO<sub>2</sub> para cada Estado miembro de la Unión Europea, y estos, a su vez, distribuyen los respectivos permisos entre sus empresas, de acuerdo con el Plan Nacional de Asignación de permisos de cada país. Cada permiso representa una unidad de dióxido de carbono emitido o una tonelada de CO<sub>2</sub> European Union Allowances (EUA), donde  $1\text{ EUA}=1\text{tCO}_2$ . Estas asignaciones se han elaborado en dos periodos: de 2005 a 2007 y de 2008 a 2012.

La mayoría de los países miembros de la Unión Europea asignan las cuotas de emisión a sus instalaciones, recurriendo a sus emisiones anteriores, las cuales no son iguales a las emisiones previstas durante el período de comercio de emisiones. A este sistema se lo denomina *grandfathering*, o asignación de derechos de emisión en forma gratuita, calculados en función de criterios históricos. Las empresas que operan dentro del sistema son llamadas *compliance buyers*.

Existen tres grupos principales de participantes en el mercado de carbono: los compradores, los vendedores y los intermediarios. La demanda proviene de las instalaciones con posición deficitaria, es decir, las que emiten más CO<sub>2</sub> del que se les permite; por tanto, deben salir al mercado a comprar EUA, invertir en proyectos de reducción de emisiones en el exterior, o simplemente comprar los créditos de reducción de emisiones de MDL o IC (CERs o ERUs). La oferta de permisos se debe a aquellas instalaciones que terminan con superávit de emisiones, esto es, las que emiten menos de lo que se les permitió, salen al mercado a vender EUA. La oferta es complementada con los créditos de reducción de emisiones de MDL e IC.

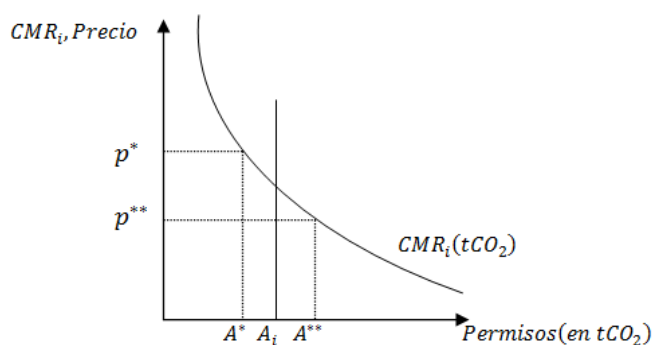
Teniendo en cuenta sus planes de producción, las compliance buyers, compran y venden EUA<sup>4</sup> en un esfuerzo de acercarse lo más posible a sus necesidades esperadas en términos del número de bonos de carbono, que requieren para cubrir sus emisiones esperadas de carbono.

“Los intermediarios, en su función más básica, facilitan el intercambio entre vendedores y compradores. Sin embargo, la creciente sofisticación de los mercados de carbono ha hecho que los intermediarios jueguen un papel cada vez más activo en la compra-venta de permisos y certificados, desarrollándose un mercado secundario por medio del cual los intermediarios compran tCO<sub>2</sub> directamente, creando de esta manera un portafolio con distintos activos de carbono, que luego van vendiendo paulatinamente de acuerdo a las necesidades de los compradores” (Cavallucci, 2009b).

Quienes no cumplieran al final del periodo con sus obligaciones de emisión, deberían pagar una multa de 40 euros por EUA para el primer periodo, y 100 euros para el segundo.

En el gráfico N°1  $A_i$  representa los Allowances (EUA) asignados a la instalación  $i$  y  $CMR_i$  sus Costos Marginales de Reducción de la contaminación con tCO<sub>2</sub>. Si el precio de equilibrio del mercado EU-ETS es  $p^*$ , la instalación  $i$  preferirá reducir su contaminación hasta  $A^*$  y vender el excedente de permisos  $A_i - A^*$ . Ahora, si el precio de equilibrio es  $p^{**}$ , preferirá contaminar hasta  $A^{**}$ , así que será una instalación deficitaria y tendrá que comprar  $A^{**} - A_i$  permisos o créditos.

**Gráfico1. Toma de decisiones de Compliance Buyers**



Fuente: Elaboración propia del autor.

### 2.2.2 Tipos básicos de contratos

En el mercado europeo de carbono se transa a través de tres tipos básicos de contratos: Spot, Futuros y Opciones. El mercado spot es la forma tradicional mediante la cual se transan bienes con la entrega inmediata del activo y el pago de contado. En el mercado

<sup>4</sup> También pueden comprar créditos CERs o ERUs.

Spot, el precio del bono de carbono y la cantidad de bonos, se negocian en la fecha del acuerdo de compra-venta, pero la entrega y el pago del bono se realizan en una fecha futura cercana. Se puede considerar como si la compraventa ocurriera en el mismo momento de la negociación, aunque pasen unos días entre el pago y la entrega. Esto se hace para asegurar un precio conveniente para ambas partes y para reducir el riesgo de que el bono no se venda en el futuro.

En el mercado de futuros se pacta la compraventa de una cantidad específica de bonos al precio de mercado actual, pero el pago y la entrega se realizarán en fechas futuras, en el momento del vencimiento del contrato, por lo que las partes deben asumir la pérdida o ganancia que generen los cambios en el precio del tipo de bono que se tranza. Estos contratos son estandarizados, es decir, se ajustan a una norma común y se realizan a través de un intermediario y, además, el término del contrato y la cantidad que se puede transar están predeterminados y son comunes a otros contratos similares.

En el mercado de opciones, las partes compran o venden la opción (el derecho a decidir) sobre si la venta se realizará o no en una fecha y a un precio pactados. De esta manera, el comprador tiene el derecho a tomar la cantidad de bonos ofrecida por el vendedor, pero no tiene la obligación de comprarlos una vez llegada la fecha acordada. Las condiciones de precio, cantidad y fecha de entrega de los bonos se acuerdan el día de elaboración del contrato, y también se concierta una fecha que marca el plazo límite para que el comprador mantenga su derecho de compra. En este caso, el vendedor está a la expectativa y depende de la decisión del comprador, pero si la compraventa se realiza, el comprador le pagará una cantidad adicional denominada Premium.

En el mercado de Opciones existen dos tipos de opciones: Call y Put. Una opción de compra call da a su propietario el derecho de adquirir bonos de carbono a una fecha determinada durante un período. De la misma manera, una opción de venta put, da al propietario del derecho la opción de vender los bonos de carbono en una fecha durante un período determinado. La fecha específica se conoce como fecha de vencimiento y el precio del contrato o derecho de emisión se conoce como strike.

El mercado spot de EUA es pequeño en comparación con el mercado de futuros, no alcanza el 10% de todo el mercado. Esta pequeña participación se explica dado que en el mercado de emisiones los compromisos son verificados anualmente, y en ese sentido la necesidad de los permisos día a día es muy reducida. Además, la existencia de riesgos derivados del intercambio de estos permisos hace que la mayor parte de los agentes prefieran establecer contratos para fijar ciertas condiciones.

Existen tres modalidades en las que se pueden transar los bonos de carbono en el EU-ETS: 1) bilateral puro (Over-the-counter, OTC). La expresión indica que la negociación no requiere supervisión y que se lleva a cabo entre firmas, o en espacios de comercio no regulados, y no en las bolsas públicas y reguladas. 2) Bilateral intermediado, en el cual se negocia a través de un intermediario (broker), que está

encargado de unir posiciones. Así, las partes muestran sus posiciones solo cuando hay un acuerdo de compra-venta. 3) Bilateral organizado o Exchange, en el cual se negocia través de plataformas de intercambio creadas específicamente para ese propósito, conocidas como Bolsas.

En Europa, se pueden mencionar las siguientes bolsas:

- ECX (European Climate Exchange, based in London and Amsterdam)
- BLUENEXT – formerly POWERNEX (France);
- EEX (European Energy Exchange, Germany);
- Nord Pool (Scandinavia)
- EXAA (Energy Exchange, Austria)
- SENDECO2 (España)

El más importante de los mercados creados en términos del volumen negociado es el European Climate Exchange (ECX) en Holanda, con aproximadamente el 50% del volumen negociado en el mercado europeo.

### 3 PERMISOS DE EMISIÓN NEGOCIABLES (PEN)

Los Permisos de Emisión Negociables (PEN) tienen como propósito crear mercados para un mal como la contaminación y así alcanzar objetivos ambientales bajo un sistema que asegure al mismo tiempo la eficiencia económica. La idea de los permisos de contaminación transferibles fue popularizada por Dales (1968). Posteriormente en Montgomery (1972), se llevó a cabo la demostración matemática de la propiedad del menor costo de los permisos de contaminación negociables en la reducción de la contaminación.

De manera genérica, El sistema de PEN consiste en establecer por parte de la autoridad ambiental responsable, una cantidad máxima del recurso o servicio que se puede utilizar. Lo que presupone la determinación previa de una cierta calidad ambiental, definida en términos de un nivel aceptado de emisiones o de una norma de calidad del recurso, trátase de tierra, agua o aire. El nivel de calidad ambiental dispuesto se expresa en permisos de emisión o de uso, según el caso, y posteriormente se distribuyen entre los agentes del mercado en forma de cuotas que constituirán derechos de uso sobre el recurso o servicio.

Los permisos serán adjudicados por la autoridad ambiental mediante algún procedimiento de distribución que sea equitativo, gratuito (Grandfathering)<sup>5</sup>; o bien, ofrecidos en licitación pública. Los agentes involucrados pueden, una vez obtenidos estos permisos, negociarlos entre ellos ya sea comprándolos o vendiéndolos. Expresado de este modo, un permiso de contaminación ambiental otorga el derecho al poseedor del mismo, la posibilidad de hacer uso de un determinado medio físico o región receptora; emitiendo o introduciendo elementos extraños en ella, hasta por una cantidad igual o menor al límite que la propiedad de los mismos le faculte, por arriba del cual la empresa emisora será sancionada (Aguilar, 2006).

#### 3.1 Análisis de Costo eficiencia en el mercado de permisos

Considérese la presencia de  $N$  fuentes fijas a ser reguladas, que emiten un contaminante que se vierte a un medio receptor. La autoridad ambiental desea lograr una meta de emisiones agregadas al mínimo costo posible.

---

<sup>5</sup> Este sistema de asignación gratuita de los permisos respeta los derechos adquiridos por empresas establecidas con anterioridad a la entrada en vigor del mercado de PEN. Es decir, la asignación de los permisos se hace de acuerdo con el registro histórico de contaminación de las empresas.

El problema formal es el siguiente:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n c_i(x_i) \quad \text{s. a} \quad \sum_{i=1}^N (e_i - x_i) \leq \bar{E} \quad (1)$$

Donde:

$c_i(x_i)$ : Es la función de costos de reducción de la contaminación de la firma  $i$ , la cual es función del nivel de reducción alcanzado  $x_i$ . Suponiendo que la función de costos de reducción es creciente y convexa en el nivel de reducción; esto es,  $c_i'(x_i) > 0$  y  $c_i''(x_i) > 0$ .

$e_i$ : es el nivel de emisiones no regulado generado por la firma  $i$ ,  $e_i - x_i$  es la contaminación vertida de la firma  $i$ .

$\bar{E}$ : Representa la meta de contaminación de la autoridad ambiental.

**Solución:**

$$L = \sum_{i=1}^N c_i(x_i) + \lambda \left[ \bar{S} - \sum_{i=1}^N (e_i - x_i) \right] \quad (2)$$

Las condiciones de primer orden (C.P.O) que caracterizan la solución del problema son:

$$c_i'(x_i^*) - \lambda = 0 \quad \forall_{i=1..N} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^N (e_i^* - x_i^*) = \bar{E} \quad (4)$$

Como se aprecia en la C.P.O. (3), una condición necesaria para el óptimo, es que todas las firmas igualen sus costos marginales de reducción  $c_i'(x_i)$  al valor de  $\lambda$ , así que en el óptimo, todas las firmas deben tener los mismos costos marginales de reducción.

Para que un mercado de permisos de emisión logre este resultado, se requiere crear y asignar una oferta de permisos dada por  $\bar{E}$ .

Cuando una firma se enfrenta a un sistema de permisos de emisión transferibles, se supone que a cada firma regulada se le asigna una cantidad de permisos igual a  $e_i^0$ , de forma que,

$$\sum_{i=1}^N e_i^0 = \bar{E} \quad (5)$$

Si el mercado de PEN es un mercado perfectamente competitivo y se asume pleno cumplimiento, el sistema garantiza la consecución de la meta ambiental al mínimo costo, ya que todas las firmas deciden a qué cantidad de permisos acceden igualando sus costos marginales de reducción con el precio  $p$  de los permisos.

#### Demostración:

El problema de la firma consiste en seleccionar el nivel de reducción de emisiones y la demanda de permisos para contaminar tal que se minimicen los costos totales de cumplir con la restricción impuesta por la autoridad ambiental:

$$e_i - x_i - d_i = e_i^0 \quad (6)$$

$$d_i = e_i - x_i - e_i^0 \quad (6b)$$

Donde  $d_i$  es la demanda de permisos del agente contaminador  $i$ .

$$\text{Min } c_i(x_i) + p d_i \quad (7)$$

$$\text{Min } c_i(x_i) + p(e_i - x_i - e_i^0) \quad (7b)$$

C.P.O:

$$c_i'(x_i) - p = 0 \quad (8)$$

Entonces todas las firmas igualaran sus costos marginales de reducción de la contaminación al precio  $p$  de los permisos. Al comparar esta solución, con la solución que se obtiene para la firma reguladora, se puede concluir que la solución es costo-efectiva sí  $p = \lambda$ .

$$c_1'(x_1^*) = c_2'(x_2^*) = \dots = c_N'(x_N^*) = p \quad (9)$$

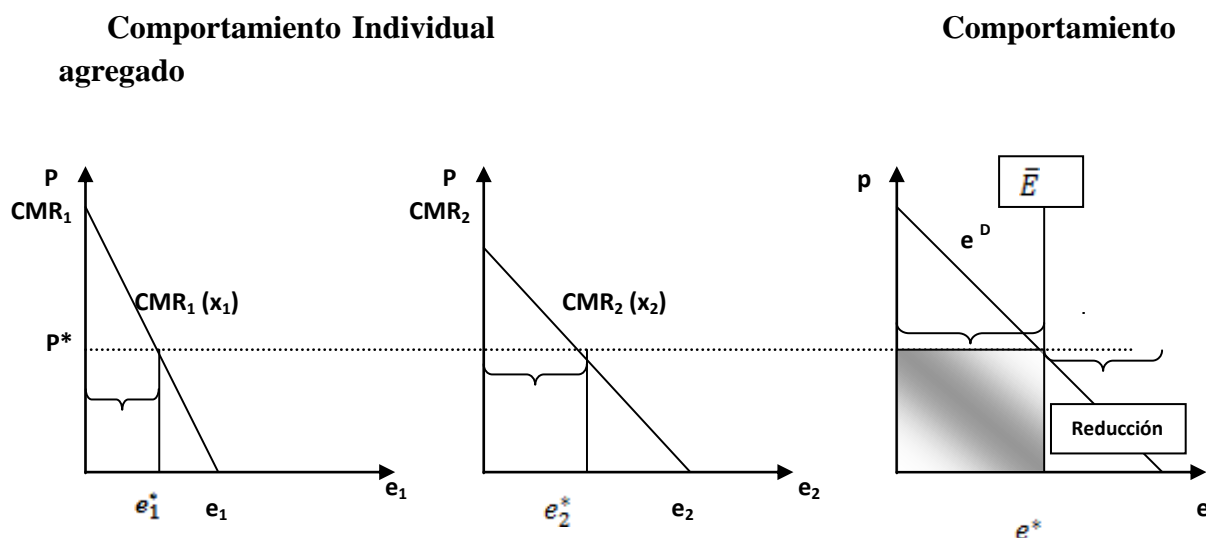
La condición (9) indica que la solución de mercado será óptima, en el sentido que se garantiza el cumplimiento de la meta ambiental al mínimo costo, porque las firmas igualan sus costos marginales de reducción entre sí, mediante el precio de mercado de los permisos.

En la gráfica 2 se explica el funcionamiento del mercado de permisos. En el eje de las abscisas representa el nivel de emisiones  $e$  y en el eje de las ordenadas el precio de los

permisos y los costos marginales de reducción. El nivel de emisiones que minimiza los costos de reducción para las empresas es el no controlado,  $e_1$  y  $e_2$ .

El nivel eficiente de emisiones, corresponde los puntos  $e_1^*$  y  $e_2^*$ , en el cual el precio de las emisiones es igual al costo marginal de reducirlas.

**Gráfico 2. Funcionamiento del mercado de PEN**



Fuente: elaboración propia.

En el comportamiento agregado, se observa la curva de oferta de emisiones  $\bar{E}$ , que representa la cantidad fija de permisos expedidos por la autoridad competente, y la cual es perfectamente inelástica. La contaminación final  $e^* = e_1^* + e_2^*$  termina siendo igual a la restricción de contaminación de la autoridad ambiental.

El área sombreada en la gráfica de comportamiento agregado representa el gasto en permisos y los triángulos en las gráficas de comportamiento individual entre  $e_1^*$  y  $e_1$  corresponden a los costos de reducción.

La curva  $CMR_i$  de cada firma es también su función de demanda de permisos, y así la suma de las curvas  $CMR_1$  y  $CMR_2$  representa la función de demanda agregada por permisos  $e^D$ . Por lo tanto, el punto de equilibrio de mercado quedará determinado por la intersección entre la curva oferta  $\bar{E}$  y la curva de demanda agregada  $e^D$ .

### 3.2 Equilibrio en el Mercado Europeo de Bonos de Carbono

En el EU-ETS las firmas pueden decidir entre reducir la contaminación hasta cumplir con su asignación de derechos, según el plan nacional de asignación del país en el que se encuentra ubicada, comprar derechos de emisión (vender si tiene superávit) o



comprar CER de mecanismos de desarrollo limpio, los cuales poseen algún nivel de incertidumbre acerca de su validez. El problema de la firma es el siguiente:

$$\text{Min } c_i(x_i) + pd_i + p_{\text{CER}} \text{CER}_i \quad \text{s.a.} \quad e_i - x_i - d_i - (1 - \rho)\text{CER}_i = e_i^0 \quad (10)$$

Donde  $0 < \rho < 1$  es la probabilidad de que los CER adquiridos no sean considerados como bonos de carbono válidos.

$$L = c_i(x_i) + pd_i + p_{\text{CER}} \text{CER}_i + \mu [e_i - x_i - d_i - (1 - \rho)\text{CER}_i - e_i^0] \quad (11)$$

C.P.O.

$$\frac{\partial L}{\partial x_i} = c'_i(x_i) - \mu = 0 \quad (12)$$

$$\frac{\partial L}{\partial d_i} = p - \mu = 0 \quad (13)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \text{CER}_i} = p_{\text{CER}} - \mu * (1 - \rho) = 0 \quad (14)$$

De donde se deduce que:

$$c'_i(x_i) = p = \frac{p_{\text{CER}}}{1 - \rho} \quad (15)$$

Las firmas deciden cuantos bonos de carbono compran igualando sus costos marginales de reducción con el precio de los permisos (Allowances de la Unión europea) o al precio de los CER de MDL ponderado por el inverso de su coeficiente de riesgo. Esto significa que en el equilibrio, las firmas contaminadoras deben ser indiferentes entre comprar Allowances o CER de MDL, además se concluye que el precio de los CER deberá ser inferior al de los Allowances de la Unión europea, tal como se observa en la realidad.

$$p = \frac{p_{\text{CER}}}{1 - \rho} \quad (16)$$

$$p_{\text{CER}} = p * (1 - \rho)$$

$$\rightarrow p_{\text{CER}} \leq p$$

## **4 MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO Y SU IMPACTO EN COLOMBIA**

El Protocolo de Kioto flexibilizó el cumplimiento de los compromisos de limitación de emisiones de GEI a través de tres instrumentos: la implementación conjunta, el comercio de emisiones y el mecanismo para un desarrollo limpio. En particular el mecanismo para desarrollo limpio, permite que mediante la compra de Créditos de Carbono (CERs), los países industrializados financien parcial o íntegramente proyectos que reduzcan emisiones de GEI o sumideros que cumplan el mismo objetivo, en territorios de países que no tienen metas de reducción de emisiones, como es el caso de Colombia.

Los CERs generados pueden ser utilizados por los países inversores para acreditar el cumplimiento de sus metas de reducción de emisiones, y en los países en desarrollo, pueden beneficiar por medio de la inversión en proyectos que generan CERs y transferencia de tecnologías limpias.

Colombia aprobó y ratificó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) mediante Ley N° 164 de 1994, y el Protocolo de Kioto fue ratificado por la Ley N° 629 de 2000. Como Estado Parte no Anexo I de la CMNUCC Colombia no ha asumido obligaciones cuantitativas de limitación, sin embargo, puede atraer inversión extranjera directa en el marco de los mecanismos flexibles del PK.

La reducción y captura de emisiones de GEI ofrece nuevas oportunidades para la cooperación y realización de negocios entre gobiernos y empresas de países industrializados con Colombia, que contribuyan de manera simultánea a la disminución de las causas del fenómeno de cambio climático y situar al país en la senda del desarrollo sostenible.

### **4.1 Requisitos de un proyecto de MDL**

Los proyectos de reducción de emisiones de GEI, que formen parte del Mecanismo de Desarrollo Limpio deben cumplir las siguientes condiciones:

- Reducir alguno de los gases de efecto invernadero indicados en el Anexo A del Protocolo de Kioto.
- Tener participación Voluntaria.

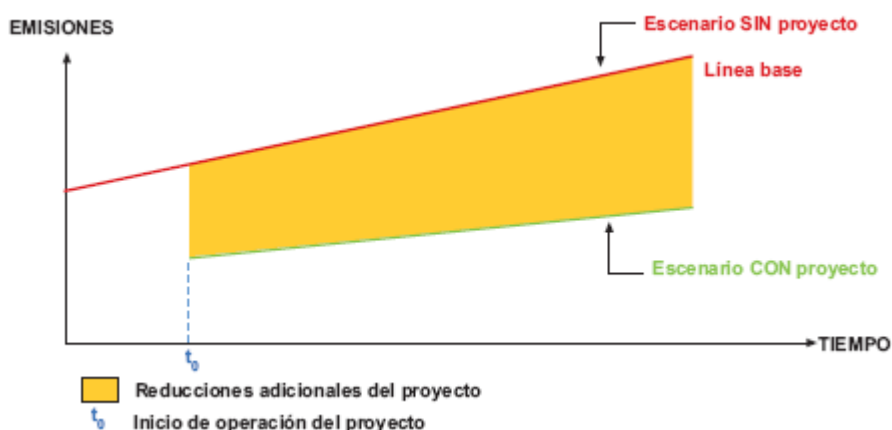
- Reducir emisiones consideradas adicionales a las que se producirían en ausencia de la actividad del proyecto.
- Garantizar beneficios reales, mensurables y de largo plazo en relación con la mitigación de los gases efecto invernadero.
- Contribuir al desarrollo sostenible del país.
- Ser desarrollado en un país que haya ratificado el Protocolo de Kioto y que posea una Autoridad Nacional Designada para el MDL.

Demostrar la adicionalidad es un ítem crucial en la determinación de la viabilidad de un proyecto de MDL, pues es uno de los requisitos fundamentales de elegibilidad para que los proyectos accedan a los beneficios de este mecanismo. La adicionalidad se compone de dos requisitos fundamentales: un proyecto es adicional si sus emisiones de GEI son menores a las que habrían ocurrido en ausencia de la implementación del proyecto (línea base); al mismo tiempo, un proyecto es adicional si se presentan barreras de tipo financiero, tecnológico y demás, que la implementación como MDL puede ayudar a superar. Dicho de otra forma, en ausencia del MDL el proyecto no podría ser implementado; de esta forma, proyectos que ya han sido realizados, o que igualmente serían efectuados sin MDL, no son adicionales y no pueden obtener CERs.

Desde el punto de vista económico financiero la adicionalidad se puede ver como: 1) la rentabilidad es insuficiente para que el empresario decida realizar el proyecto. 2) Con los beneficios de la venta de CERs el proyecto es atractivo para el empresario.

El razonamiento para la implementación de este requisito es muy sencillo ¿por qué dar un incentivo al empresario para hacer lo que haría por su propio interés?, evidentemente, el requisito de adicionalidad restringe considerablemente el conjunto de proyectos elegibles.

**Gráfico 3. Requisito de adicionalidad**



Fuente: Guía del MDL para el sector de energía en Chile.  
[www.gtz.de/de/dokumente/es-clima-guia-mdl-chile.pdf](http://www.gtz.de/de/dokumente/es-clima-guia-mdl-chile.pdf)

## 4.2 Ciclo de un proyecto de MDL

Un proyecto MDL debe seguir un ciclo que consta de las siguientes etapas, hasta obtener los Certificados de Reducción de Emisiones (CERs):

### i. Identificación y diseño del proyecto

Esta etapa está a cargo del proponente del proyecto. Tiene como propósito determinar si la idea propuesta cumple con los criterios básicos requeridos para un proyecto MDL. Existen esencialmente dos elementos críticos que los proyectos MDL deben verificar: a) obtener una reducción real de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) con respecto a la situación en ausencia de proyecto y b) contribuir al desarrollo sostenible del país anfitrión del plan.

La formulación del proyecto debe tener en cuenta una serie de características a fin que este sea aprobado:

- Descripción general del proyecto. Brinda información básica sobre el mismo: actividades a ser desarrolladas, tecnología que utilizará, participantes, localización geográfica y sustentación de la forma en que el proyecto reducirá las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Período de acreditación. Consiste en elegir la duración del periodo de tiempo durante el cual se solicitará la certificación de las reducciones o capturas de gases de efecto invernadero.

Luego de identificada la idea de proyecto, se elabora el Documento de Proyecto de acuerdo al formato internacional aprobado por la Junta Ejecutiva<sup>6</sup> del MDL.

### ii. Aprobación por la Autoridad Nacional Designada (AND)

El proyecto es aprobado por la AND<sup>7</sup>, en función de la participación voluntaria de las partes y de su contribución al desarrollo sostenible del país anfitrión.

---

<sup>6</sup> La Junta Ejecutiva (JE) es el organismo de la UNFCCC que aprueba y registra los proyectos de MDL. Es la última instancia en el proceso de registro. Además, la Junta Ejecutiva es la máxima instancia para evaluación de metodologías, procedimientos y modalidades relacionados con el MDL. La Junta Ejecutiva está integrada por diez miembros procedentes de Partes del Protocolo de Kioto.

<sup>7</sup> Para poder participar en el MDL las Partes involucradas tienen que nombrar una Autoridad Nacional Designada, que será la encargada de dar la aprobación a este tipo de proyectos. Las AND son responsables igualmente de autorizar la participación voluntaria de entidades privadas o públicas en el MDL. La AND es un actor esencial para cada uno de los países que participan en los proyectos de MDL.

En Colombia la aprobación de proyectos está a cargo del Ministerio de Ambiente, Vivienda, y Desarrollo Territorial (MAVDT), por medio del procedimiento establecido en la resolución N° 551 de 2009, por la cual se adoptan los requisitos y evidencias de contribución al desarrollo sostenible del país y se establece el procedimiento para la aprobación nacional de proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que optan al MDL.

### iii. Validación por una Entidad Operacional Designada

La validación del proyecto MDL es realizada por una Entidad Operacional Designada (EOD), entidad independiente designada por la Junta Ejecutiva del MDL y seleccionada por los participantes del proyecto. Esta etapa consiste en una evaluación del proyecto y sus documentos conexos (CDM-PDD, estudio línea de base, protocolo de monitoreo y verificación, reporte de la consulta pública) así como hacer público el Documento de Proyecto para recibir comentarios pertinentes a los requisitos de validación.

### iv. Registro ante la Junta Ejecutiva del MDL

Es la aceptación oficial del proyecto por la Junta Ejecutiva del Mecanismo de Desarrollo Limpio. El registro del proyecto es solicitado por la entidad operacional una vez ha culminado con éxito el paso anterior.

### v. Monitoreo

Se lleva a cabo en el periodo de acreditación, para este efecto, el responsable del proyecto debe obtener y registrar permanentemente la información pertinente para determinar las reducciones de gases de efecto invernadero que el proyecto presenta en su ejecución.

### vi. Verificación y certificación

Es la revisión de cálculos y procedimientos hechos por el responsable del proyecto durante el monitoreo, a fin cuantificar las reducciones de gases de efecto invernadero. La verificación la lleva a cabo la entidad operacional que puede o no ser la misma que efectuó con anterioridad la validación del proyecto. La entidad operacional que comprueba que el procedimiento seguido por el responsable del proyecto es el mismo al establecido en el protocolo de monitoreo que aparece escrito en el documento del proyecto. En la verificación se constata la información suministrada efectuando inspecciones y acudiendo a fuentes adicionales.

### vii. Expedición de los CERs

En este paso la entidad que realizó la verificación envía el informe de certificación de las reducciones y captura de gases de efecto invernadero a la Junta Ejecutiva, para que ésta proceda a expedir las Reducciones Certificadas de las Emisiones (CER).

### **4.3 Riesgos de los Proyectos de MDL**

A continuación se muestra una lista de posibles riesgos a los que se puede enfrentar un proyecto MDL durante su ciclo de desarrollo:

- **Riesgo País:** Inestabilidad política y económica en el país donde se ejecuta el proyecto (también violencia o destrucción de infraestructuras).
- **Riesgos contractuales.**
- **Cambios en la metodología.** (En ocasiones la Junta Ejecutiva del MDL ha hecho cambios en la metodología a aplicar para calcular las reducciones de un tipo de proyectos).
- **El riesgo de no recibir aprobación nacional del país que albergará el proyecto** (por ejemplo se produce un retraso en el procedimiento de aprobación y por lo tanto el ejecutor del proyecto se encuentra con la incapacidad de definir plazos o fechas límite).
- **El riesgo en la validación y registro del proyecto que podría ocurrir por dificultad para conseguir la información requerida por parte de la Entidad Operacional Designada (EOD o DOE) o la Junta Ejecutiva (JE).**
- **Riesgo de funcionamiento** (sobre estimación del funcionamiento del proyecto y de las reducciones de emisiones generadas).
- **Riesgo de verificación/monitoreo** (por ejemplo errores en el monitoreo que tengan como consecuencia una reducción de las estimaciones en la reducciones de emisión).
- **Riesgos de mercado** (por ejemplo una bajada drástica de precios).
- **Riesgo post-Kioto** (incertidumbre acerca de las reglas y regulaciones a partir del 2012).

Nótese que la mayor parte de los riesgos son riesgos atípicos, inherentes al MDL (que el proyecto no sea aprobado o validado), a los CER (que el proyecto no certifique el

volumen previsto o que los precios de los CER sufran una caída drástica) o el riesgo post-Kioto.

La mitigación estos riesgos específicos de los proyectos de MDL requiere la selección de un aliado estratégico que comparta los riesgos y las oportunidades de este tipo de proyectos. Según Valenzuela (2004) los esquemas disponibles con los siguientes:

- Modelo Unilateral:

En este esquema no existe ningún tipo de alianza. El proponente desarrolla el proyecto, obtiene el financiamiento, cumple con el ciclo de proyecto MDL, registra el proyecto y recibe los CERs respectivos, los cuales pueden ser vendidos en el mercado spot. La desventaja consiste en que es el dueño del proyecto, el que se hace cargo de todos los costos del MDL, asumiendo el riesgo de no generación de CERs y que el mercado cambie negativamente. La ventaja es que puede acceder a posibles incrementos futuros de precios, el dueño del proyecto puede especular con mejores precios de acuerdo con las tendencias del mercado y puede alcanzar mejores términos en la negociación de los CERs.

- Modelo Multilateral

Los recursos financieros provenientes de los inversionistas del Anexo I fluyen a través de un fondo centralizado de inversiones que se canalizan hacia actividades de proyectos en países en desarrollo anfitriones. Entonces existe una clara separación entre los inversionistas del Anexo I, por un lado, y el desarrollo y financiamiento de proyectos por el otro. El fondo asume el desarrollo del proyecto del MDL por sí mismo, en colaboración con los inversores de los países en desarrollo y probablemente la oficina del MDL del país anfitrión.

Una vez se certifican las reducciones de emisiones logradas a través de las actividades de los proyectos, se venden o emiten a los inversionistas a través de un cuerpo centralizado. Estos recibirían una parte de los CERs (o la compra de los derechos sobre los mismos) proporcional a sus contribuciones de capital al fondo. Por lo general, un fondo centralizaría un conjunto de decisiones importantes, incluyendo cuáles son los proyectos que reciben financiamiento, así como los esquemas de validación y servicios de verificación de proyectos.

La principal ventaja del modelo multilateral para las empresas del país anfitrión, es que un fondo intermediario es el quien asume el riesgo por el desarrollo del componente MDL. Entre las desventajas del esquema para las empresas del país anfitrión, se encuentra que el margen de negociación del precio puede resultar muy estrecho y poco flexible, y los precios tienden a ser más bajos.

- Modelo Bilateral

El modelo bilateral contempla a uno o más inversionistas del Anexo I como participantes directos en el desarrollo, financiamiento y posiblemente en la operación de un proyecto del MDL.

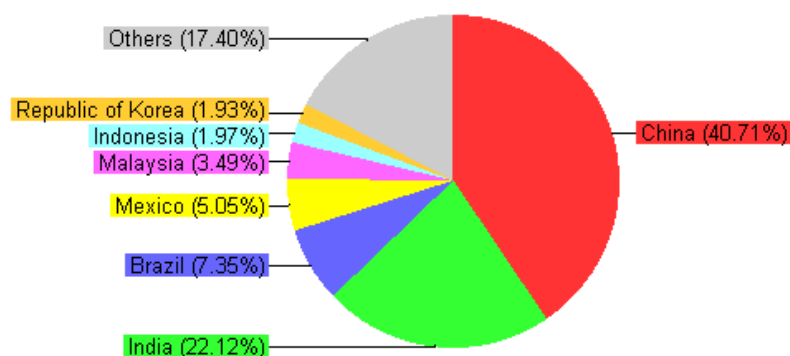
En esta estructura descentralizada, la selección del proyecto, la financiación y los créditos compartidos (y cualquier acuerdo de precios) se negocian directamente entre las partes interesadas (diseñadores, inversionistas y gobiernos) según el proyecto. Dependiendo del fondo (grupo de inversionistas) o gobierno, y del tipo de proyecto, este participa de la financiación del mismo y asume parte del riesgo.

#### 4.4 Mecanismo de desarrollo limpio en Colombia

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, en su página web<sup>8</sup>, presenta las estadísticas de proyectos de MDL registrados ante esta entidad y los CER emitidos por las Partes autorizadas.

La cantidad total de proyectos registrados ante la JE al 15 de Octubre del 2010 es de 2437. El gráfico 4 revela el liderazgo de China, con 40.71% de los proyectos registrados equivalente a 992 proyectos. Según la misma fuente, Colombia tiene un total de 24 proyectos, equivalentes al 0.98% del total. Colombia ocupa el puesto número doce en el ranking general, entre los 69 países oferentes de MDL y el cuarto puesto en Latinoamérica, después de Brasil (7.3%), México (5%) y Chile (1.5%).

**Gráfico 4. Composición por origen de los Proyectos de MDL registrados ante la JE - 15.10.2010**



Fuente: CMNUCC, <https://cdm.unfccc.int/Statistics/index.html>

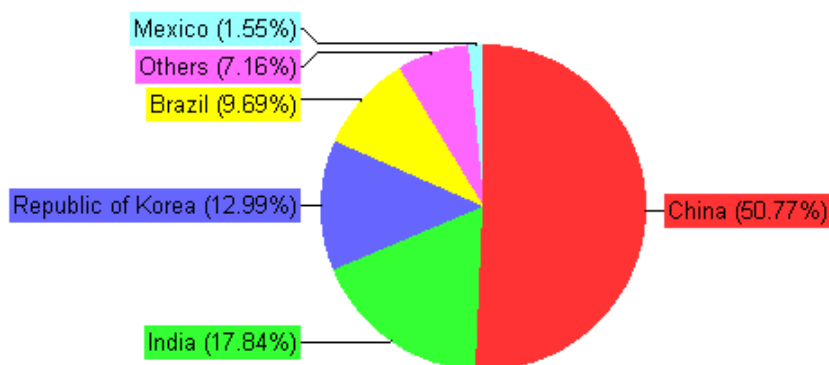
El gráfico 5 muestra que China también es el país líder en cuanto a CER de MDL emitidos, con 226.031.637 (50.77%) CERs de un total de 445.236.963 emitidos. Colombia ha emitido un total de 769.965 CERs, equivalentes al 0.17% del total de CERs emitidos. Colombia ocupa el puesto número diecisiete en el ranking general,

<sup>8</sup> <https://cdm.unfccc.int/Statistics/index.html>



entre los 69 países oferentes de MDL y el séptimo puesto en Latinoamérica, después de Brasil (9.6%), México (1.5%), Chile (1.1%), Argentina (0.97%), Bolivia (0.2%) y Ecuador (0.18%).

**Gráfico 5. Composición por origen de los CER de MDL emitidos - 15.10.2010**



Fuente: CMNUCC, <https://cdm.unfccc.int/Statistics/index.html>

Después de conocer las estadísticas mundiales, se presentan algunas estadísticas de MDL en Colombia. El cuadro 2 resume la información general de MDL en el país:

**Cuadro 2. Información general del MDL en Colombia**

Total proyectos MDL portafolio Nacional	146
Potencial Anual de Reducción de Emisiones de Gases efecto de Invernadero (TonCO <sub>2</sub> e/año)	18.093.393
Proyectos con Aprobación Nacional	54
Proyectos Registrados ante Naciones Unidas	23
Proyectos con CERs emitidos	7
Potencial total de ingresos por CERs de proyectos del portafolio al año (dólares)	164.587.620
Ingresos por venta de CERs en Colombia de 2007 a 2009 (dólares)	87.870.000

Fuente: MAVDT,

<https://www.minambiente.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=829&conID=3046>

Del cuadro 2 se desprende que solo el 37.2% del portafolio total de proyectos de Colombia ha recibido aprobación nacional y menos del 5% han logrado emitir CER. Estas estadísticas nacionales revelan los problemas que afrontan los proyectos de MDL, son una prueba a favor de quienes consideran que el MDL es un mecanismo lento, depreciado e ineficaz, con una alta tasa de mortalidad de proyectos. El MDL es

considerado un procedimiento complicado y burocrático; factores que se tornan como barreras para la puesta en marcha de proyectos que promuevan el desarrollo sostenible en los países más pobres.

Los inconvenientes también se pueden atribuir, en parte, al hecho de que el PK ha sido diseñado por los países ricos, y la falta de capacidad y mano de obra experta en países en vías de desarrollo atenta contra su viabilidad. Ello ha causado que el establecimiento de proyectos MDL requiera la implicación de consultores y gestores de proyectos de los países desarrollados. Esto reduce significativamente los márgenes de venta de los créditos de carbono y tiende a desincentivar este tipo de proyectos. Le queda entonces al estado, apostándole al desarrollo sostenible y en virtud de los beneficios ambientales que les pueden generar a sus ciudadanos este tipo de proyectos, desempeñar una labor de acompañamiento, así como incentivar y promocionar a sus empresas en la participación del MDL.

Según un estudio realizado por La Organización Latinoamericana de Energía OLADE (2007) sobre el MDL en América Latina y el Caribe, aquellos países de la región que han alcanzado una importante participación con proyectos MDL, tienen un profundo conocimiento del mecanismo y muchas entidades de promoción que apoyan la implementación del mecanismo. El mismo estudio sugiere que se hace necesario el fortalecimiento estratégico y sistémico orientado a una reingeniería basada en fortalecimiento de procesos, desarrollo de alianzas estratégicas para compartir con otras redes de actores, los roles de promoción del MDL, fortalecimiento de las capacidades de incidencia en la formulación de políticas complementarias que asistan la creación de portafolios de interés nacional, sistematización del conocimiento regulador necesario en el tema de valoración de contribuciones de proyectos MDL al desarrollo sostenible, como una forma de ampliar y fortalecer la participación de los países de la región.

En Colombia, el CONPES 3242 de 2003 Estrategia institucional para la venta de servicios ambientales de mitigación del cambio climático, abrió el camino para promover la incursión de Colombia en el mercado internacional de reducciones verificadas de emisiones. El objetivo de la política pública plasmada en el CONPES 3242 fue “Promover la participación competitiva de Colombia en el mercado de reducciones verificadas de emisiones de gases de efecto invernadero, mediante el establecimiento y consolidación de un marco institucional nacional”.

Las estrategias diseñadas fueron las siguientes:

- i) Definición de la política de venta de servicios ambientales de mitigación de cambio climático, para lo cual se propuso que el Consejo Nacional Ambiental (CNA) creará un comité técnico, con las siguientes funciones:

- Orientar y elaborar propuestas para la Política Nacional de Cambio Climático en los temas de reducción y absorción de emisiones de gases de efecto invernadero y la comercialización del servicio asociado.
- Actuar como órgano consultivo del MAVDT en el proceso de aprobación nacional de proyectos que buscan aplicar al MDL.

En la práctica, solo hasta el año 2009 mediante la resolución 552 del 19 de Marzo del mismo año (6 años después de propuesto en el CONPES 3242), se dio vía libre a la creación del Comité Técnico de Mitigación de Cambio Climático.

- ii) Consolidación de una oferta de reducciones de emisiones verificadas. Se definió que para esto se requería el desarrollo de las capacidades de identificación, formulación, gestión y negociación de proyectos de reducción de emisiones con fines de venta del servicio ambiental. El MAVDT debería formular y desarrollar un plan de capacitación y divulgación dirigido a los diferentes Ministerios, entes territoriales, autoridades ambientales regionales, empresas y gremios de la producción, academia y centros de investigación, que permita la comprensión de las oportunidades y limitaciones de este servicio ambiental.
- iii) Mercadeo internacional de la oferta de reducciones de emisiones verificadas. En este sentido, se determinó que el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, junto con las entidades del ramo, desarrollará recomendaciones dirigidas al comité técnico y a los formuladores de proyectos.  
  
“Así mismo, el Ministerio de Relaciones Exteriores, a través de las delegaciones diplomáticas residentes en el exterior, facilitará el establecimiento de los contactos diplomáticos con las instancias pertinentes de los gobiernos de países industrializados, con miras a la firma de acuerdos de cooperación e intercambio comercial del servicio ambiental que se enmarquen en el Protocolo de Kioto o en iniciativas bilaterales”.
- iv) Coordinación, seguimiento y evaluación de la estrategia. “La coordinación, seguimiento y evaluación de la estrategia propuesta estará a cargo del MAVDT, a través de la Oficina Colombiana para la Mitigación del Cambio Climático - OCM CC”.

En desarrollo de la estrategia el Ministerio tendrá que adelantar las siguientes actividades:

- Evaluar y aprobar proyectos del MDL en términos de su contribución al desarrollo sostenible y de acuerdo con lo establecido por el marco internacional y el procedimiento de aprobación de proyectos previamente definido por el MAVDT, en su calidad de Autoridad Nacional designada ante la Junta Ejecutiva del MDL.
- Identificar y desarrollar las capacidades necesarias para promover un portafolio de proyectos de calidad que sean competitivos en el mercado internacional de reducciones de emisiones de GEI.
- Diseñar e implementar una estrategia de mercadeo de la oferta colombiana de reducciones verificadas de emisiones.

Para este propósito entre otros, en el 2005, la resolución 340 del 2005 creó el Grupo de Mitigación de Cambio Climático como dependencia del Viceministerio de Ambiente. Su objetivo fue consolidar una estructura institucional que facilitara la presentación de proyectos MDL de alta calidad a costos razonables.

El Grupo de Mitigación de Cambio Climático es el encargado del desarrollo de herramientas y adecuar procesos de evaluación y aprobación que cumplan con los prerrequisitos y criterios del protocolo de Kioto; la promoción de proyectos MDL que sean competitivos, así como estrategias de mercadeo de los mismo en el mercado internacional, dar soporte a procesos de investigación y proyección de escenarios respecto a cambio climático, participar activamente en las negociaciones internacionales de La Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático, el Protocolo de Kioto y los mecanismos que resulten de dicha discusión y, la generación y acompañamiento en procesos de educación, formación y sensibilización de públicos respecto a temas de vulnerabilidad, adaptación y mitigación al cambio climático.

En cuanto a los incentivos económicos para el desarrollo de proyectos de MDL, la Ley 788 de 2002 introdujo entre las modificaciones al Estatuto Tributario, un par de incentivos para proyectos de reducción de gases de efecto invernadero.

Artículo 18: establece que está exenta de renta por 15 años, “la venta de energía con base en los recursos eólicos, biomasa o residuos agrícolas, realizada únicamente por las empresas generadoras”, siempre y cuando el proyecto genere y venda certificados de reducción de GEI y destine a obras de beneficio social el 50% de los recursos obtenidos por este concepto.

Artículo 95: determina que la importación de maquinaria y equipos destinados a proyectos que generen certificados de reducción de GEI estará exenta de IVA.

## 5 ANÁLISIS DE LOS DATOS

Los datos utilizados son los precios diarios de los Allowances de la Unión Europea EUA (futuros a diciembre de 2010) y CER de Mecanismos de Desarrollo limpio, ambos precios son tomados de la bolsa electrónica European Climate Exchange (ECX), líder del mercado organizado.

También se incluyó en el análisis el precio del petróleo Brent, de referencia en los mercados europeos, puesto que cuando se incrementa el precio del petróleo, el precio del gas evoluciona en la misma dirección. Se produce entonces un proceso de sustitución de gas por carbón en la generación de electricidad, derivando en un incremento de las emisiones (aumentan la demanda de derechos de emisión). Este mecanismo genera la correlación positiva entre el precio del petróleo y el precio de los bonos de carbono. La información comprende el periodo del 14 de Marzo del 2008 hasta el 14 de septiembre del 2010.

Las gráficas de los precios de EUA, CER y el spread, son mostradas en el gráfico 6. El gráfico evidencia que los precios de CER y Allowances son parecidas, existe un Spread que parece atenuarse con el paso del tiempo o con el nivel de las series.

Aunque el CER sea un sustituto perfecto para un EUA en términos de cumplimiento ante Kioto y también transable y re-vendible en más mercados que los Allowances EUA, existe un Spread entre los precios EUA y CER, que se atribuye a que en el mercado dominante de Europa, los compradores finales tienen más confianza en el EUA, para el cumplimiento de sus compromisos dentro de la Comunidad Económica Europea (Black, 2007).

Esta mayor confianza en los Allowances Europeos se atribuye a factores tales como la falta de transparencia de los CER, la incertidumbre acerca de la vigencia de los CER en el periodo post-Kioto, los límites en la cantidad de CERs y el vínculo entre el Registro Independiente de Transacciones de la Comunidad (CITL) y el Registro Internacional de Transacciones (ITL) de la ONU. El CITL de la Comunidad Europea y el ITL de la ONU, son sistemas de contabilidad electrónicos que llevan el recuento de los derechos de emisión o los créditos de emisión de carbono, de las empresas participantes en el mercado del carbono. Además, las restricciones sobre el uso y la disponibilidad de créditos de MDL dentro de Europa, debido a las reglas de complementariedad<sup>9</sup> y adicionalidad<sup>10</sup>, tienen un impacto en el mercado de MDL y por tanto, en los precios CER.

---

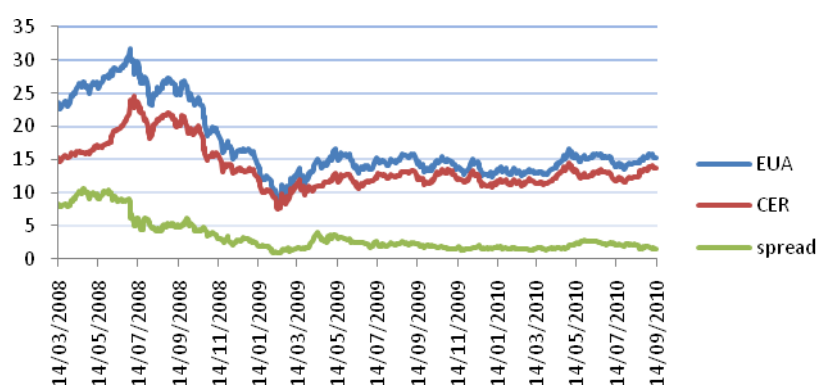
<sup>9</sup> El volumen total de los créditos de reducción de emisiones no debe superar el 50% de las reducciones.

<sup>10</sup> La adicionalidad es un término usado por el mecanismo limpio del desarrollo de Kioto, para describir el hecho de que un proyecto de reducción de carbono no habría ocurrido, de no ser por la preocupación

Los precios de los bonos del carbono son sensibles a cambios en los indicadores básicos (también llamados fundamentales) como el precio del petróleo. La inspección de la evolución de los precios de los bonos del carbono (gráfico 6) y del petróleo Brent (gráfico 7) revela que estos precios evolucionan en la misma dirección.

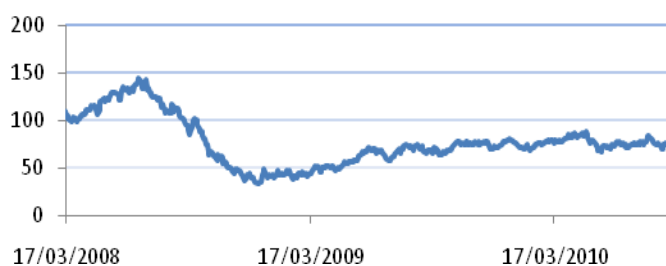
Es un hecho muy conocido y aceptado en literatura de los mercados del carbono que el precio del petróleo Brent es un driver de los precios EUA y CER por los efectos ya expuestos sobre la demanda. En cambio, no existe evidencia formal que el mercado del carbono tenga efectos significativos sobre los fundamentales del precio del carbón. El impacto del mercado del carbono sobre la demanda del petróleo es muy marginal<sup>11</sup> y no tiene consecuencias significativas sobre el precio del petróleo. Como en general, en muestras grandes, el sesgo del estimador es proporcional al efecto de  $\Delta LEUA$  o  $\Delta LCER$  sobre  $\Delta LBRENT$ , si el efecto es despreciable, el sesgo también, y no existiría mayor problema en utilizar la variable  $\Delta LBRENT$  en forma contemporánea<sup>12</sup>.

**Gráfico 6. Precios de Allowances (EUA), CER y Spread**



Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 7. Precio del petróleo Brent**



Fuente: Elaboración propia

por la mitigación del cambio del clima. Más claramente, un proyecto que ha probado adicionalidad es un proyecto más allá del negocio.

<sup>11</sup> Es consecuencia del arreglo institucional del mercado del carbono (sus participantes).

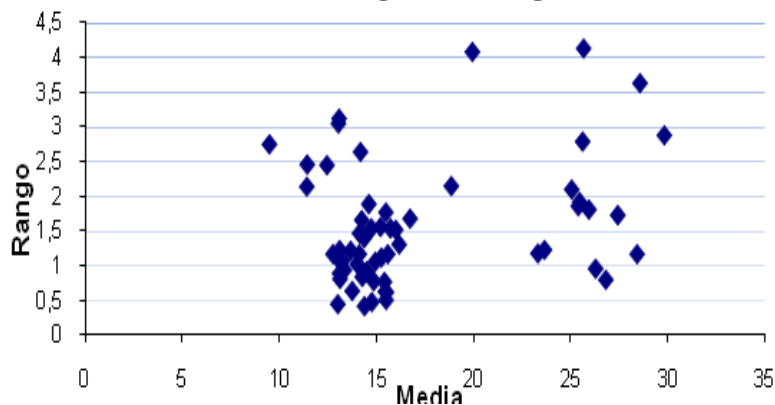
<sup>12</sup> Teniendo en cuenta también que la predicción no es un objetivo.

## 5.1 Estacionariedad

### 5.1.1 Estabilidad de la varianza

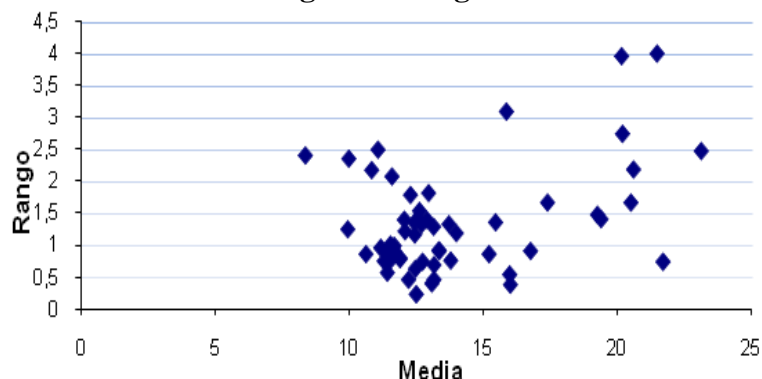
Los Gráficos 8 y 9 corresponden a los diagramas rango media de las series de precios EUA y CER. Para construir el diagrama, los datos de los precios fueron divididos en grupos de 11 observaciones, y para cada grupo se extrae la media (eje horizontal en cada gráfico) y el rango (eje vertical). En el diagrama Rango-Media, si la dispersión de los datos sigue una trayectoria horizontal, no hay necesidad de aplicarle a la serie ninguna transformación estabilizadora de la varianza. Si el diagrama de dispersión tiene la forma de una línea inclinada a 45°, la transformación apropiada para estabilizar la varianza es la función logaritmo natural. En general, dependiendo de la forma del diagrama de dispersión, se recomienda la transformación Box-Cox<sup>13</sup> apropiada.

**Gráfico 8. Diagrama Rango-Media EUA**



Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 9. Diagrama Rango-Media EUA**



Fuente: Elaboración propia

<sup>13</sup> Transformación Box - Cox:  $x^{(\lambda)} = \begin{cases} \frac{x^{\lambda}-1}{\lambda} & \lambda \neq 0 \\ \log(x) & \lambda = 0 \end{cases}$

La inspección gráfica de los diagramas rango media no resulta concluyente, en la determinación del parámetro  $\lambda$  de transformación Box Cox. Por tanto, se decidió estimar la regresión:

$$\log\sigma_{x_i}^2 = \beta_1 + \beta_2 \log\mu_{x_i} + \varepsilon_i$$

$$1 - \lambda = \beta_2$$

Las salidas aparecen en los anexos 2 y 3. El resumen es el siguiente:

**Tabla 1. Determinación del parámetro  $\lambda$  de la transformación Box-Cox**

Modelo	$H_0: 1 - \lambda = 0$		$H_0: 1 - \lambda = 1$	
	$t_{\hat{\beta}_2}$	p - valor	$W \sim \chi_1$	p - valor
$\log\sigma_{EUA_i}^2 = -2.045 + 1.063 * \log\mu_{EUA_i} + \varepsilon_i$	0.514	0.04	0.015	0.902
$\log\sigma_{CER_i}^2 = -2.381 + 1.293 * \log\mu_{CER_i} + \varepsilon_i$	0.701	0.07	0.17	0.701

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 1 se deduce con  $\alpha = 10\%$ , que para las dos series de precios se rechaza la  $H_0: 1 - \lambda = 0$ , concluyéndose que  $\lambda \neq 1$ , y se requiere alguna transformación de las series para estabilizar la varianza.

También en ambos casos, el **p - valor** de la prueba de hipótesis  $H_0: 1 - \lambda = 1$  es bastante alto, con lo que se concluye que  $\lambda = 0$ , y las series de precios requieren la transformación logarítmica para estabilizar la varianza.

### 5.1.2 Pruebas de raíz unitaria

Después de aplicarle la transformación logarítmica a las series de precios de Allowances EUA y CER de Mecanismos de desarrollo limpio, así como a el precio del petróleo Brent, se procedió a determinar si las series transformadas son o no estacionarias.

Los correlogramas de las series de precios en logaritmos se presentan en el anexo 4. En los tres casos, el análisis de los correlogramas revelan la existencia de tendencia en las



series, pero no se puede determinar si se trata de una tendencia determinística o estocástica.

Los resultados de la prueba de Dickey Fuller aumentada (ADF)  $H_0: \gamma = 0$ , se resumen en la tabla 2.

**Tabla 2. Prueba ADF – Logaritmos de los precios**

Regresión	t – Statistic	p – valor
$\Delta IEUA_t = \gamma * IEUA_{t-1} + \sum_{i=1}^3 \lambda_i * \Delta IEUA_{t-i} + \varepsilon_t$	-0.737587	0.3968
$\Delta IEUA_t = \alpha_0 + \gamma * IEUA_{t-1} + \sum_{i=1}^3 \lambda_i * \Delta IEUA_{t-i} + \varepsilon_t$	-1.421189	0.5728
$\Delta IEUA_t = \alpha_0 + \beta * t + \gamma * IEUA_{t-1} + \sum_{i=1}^3 \lambda_i * \Delta IEUA_{t-i} + \varepsilon_t$	-1.359052	0.8718
$\Delta ICER_t = \gamma * ICER_{t-1} + \sum_{i=1}^3 \lambda_i * \Delta ICER_{t-i} + \varepsilon_t$	-0.250499	0.5958
$\Delta ICER_t = \alpha_0 + \gamma * ICER_{t-1} + \sum_{i=1}^3 \lambda_i * \Delta ICER_{t-i} + \varepsilon_t$	-1.539441	0.5131
$\Delta ICER_t = \alpha_0 + \beta * t + \gamma * ICER_{t-1} + \sum_{i=1}^3 \lambda_i * \Delta ICER_{t-i} + \varepsilon_t$	-1.710848	0.7456
$\Delta IBrent_t = \gamma * IBrent_{t-1} + \varepsilon_t$	-0.543406	0.4815
$\Delta IBrent_t = \alpha_0 + \gamma * IBrent_{t-1} + \varepsilon_t$	-1.483794	0.5414
$\Delta IBrent_t = \alpha_0 + \beta * t + \gamma * IBrent_{t-1} + \varepsilon_t$	-1.272741	0.8933

Fuente: Elaboración propia

El **p – valor** de la prueba ADF para las tres series de precios, en las tres versiones de la prueba (sin intercepto, con intercepto y con intercepto y tendencia) es suficientemente alto para aceptar la  $H_0$  de raíz unitaria (**p – valor > 0.1, con  $\alpha = 10\%$** ). Hay que advertir que si los resultados de la prueba ADF en sus tres versiones no hubiese sido consistente para cada serie de precios, se tendría que haber acudido al algoritmo de Dolado, Jenkinson, Sosvilla y Rivero (1990) o a la versión modificada de Enders (2004) para realizar la prueba ADF cuando no existe incertidumbre sobre el verdadero proceso generador de datos.

### 5.1.3 Análisis de cointegración

Para determinar la existencia de cointegración entre el logaritmo de los precios de los bonos de carbono y el logaritmo del precio del petróleo Brent, se estima cualquiera de las ecuaciones (1), (2) o (3):

$$IEUA_t = \alpha_0 + \alpha_1 ICER_t + \alpha_2 IBrent_t + u_t \quad (17)$$

$$lCER_t = \alpha_0 + \alpha_1 lEUA_t + \alpha_2 lBrent_t + v_t \quad (18)$$

$$lBrent_t = \alpha_0 + \alpha_1 lCER_t + \alpha_2 lEUA_t + w_t \quad (19)$$

Si las variables **lEUA**, **lCER** y **lBrent** están cointegradas, debe encontrarse que  $u_t$ ,  $v_t$  y  $w_t$  sean  $I(0)$ . El test de Engle-Granger usa la prueba ADF para establecer la estacionariedad de los residuales de (17), (18) o (19). Por ejemplo, para  $u_t$ :

$$\Delta \hat{u}_t = \phi \hat{u}_{t-1} + \sum_{i=1}^p \gamma_i \Delta \hat{u}_{t-i} + \varepsilon_t \quad (20)$$

Las pruebas de cointegración se muestran en las tablas 3,4 y 5. En cualquiera de los casos (con intercepto, intercepto y tendencia determinística lineal, intercepto y tendencia determinística lineal y cuadrática), el **p – valor** de las pruebas (**tau – statistic** y **z – statistic**) es suficientemente alto para aceptar la  $H_0$  de ausencia de cointegración.

**Tabla 3. Prueba de Cointegración. La ecuación de cointegración presenta intercepto.**

Series: LEUA LCER LBRENT

Included observations: 638

Null hypothesis: Series are not cointegrated

Cointegrating equation deterministics: C

Dependent	tau-statistic	Prob.*	z-statistic	Prob.*
LEUA	-2.470404	0.5001	-9.572840	0.6352
LCER	-2.738449	0.3619	-12.15763	0.4759
LBRENT	-1.967477	0.7480	-7.743443	0.7503

\*MacKinnon (1996) p-values.

Intermediate Results:

	LEUA	LCER	LBRENT
Rho - 1	-0.015028	-0.019086	-0.010750
Rho S.E.	0.006083	0.006970	0.005464
Residual variance	0.000147	0.000126	0.000885
Long-run residual variance	0.000147	0.000126	0.001136
Number of lags	0	0	1
Number of observations	637	637	636
Number of stochastic trends**	3	3	3

\*\*Number of stochastic trends in asymptotic distribution

**Tabla 4. Prueba de Cointegración. La ecuación de cointegración presenta intercepto y tendencia lineal**

Series: LEUA LCER LBRENT  
 Included observations: 638  
 Null hypothesis: Series are not cointegrated  
 Cointegrating equation deterministics: C @TREND

Dependent	tau-statistic	Prob.*	z-statistic	Prob.*
LEUA	-2.570359	0.6618	-12.66625	0.6824
LCER	-2.677834	0.6063	-12.50741	0.6909
LBRENT	-2.884170	0.4951	-16.38290	0.4836

\*MacKinnon (1996) p-values.

Intermediate Results:

	LEUA	LCER	LBRENT
Rho – 1	-0.019884	-0.019635	-0.021973
Rho S.E.	0.007736	0.007332	0.007618
Residual variance	0.000117	0.000113	0.001138
Long-run residual variance	0.000117	0.000113	0.001564
Number of lags	0	0	1
Number of observations	637	637	636
Number of stochastic trends**	3	3	3

\*\*Number of stochastic trends in asymptotic distribution

**Tabla 5. Prueba de Cointegración. La ecuación de cointegración presenta intercepto más tendencia lineal y cuadrática**

Series: LEUA LCER LBRENT  
 Included observations: 638  
 Null hypothesis: Series are not cointegrated  
 Cointegrating equation deterministics: C @TREND @TREND^2

Dependent	tau-statistic	Prob.*	z-statistic	Prob.*
LEUA	-3.016284	0.6157	-18.42385	0.5893
LCER	-2.694724	0.7723	-15.24499	0.7407
LBRENT	-2.717460	0.7625	-14.86637	0.7578

\*MacKinnon (1996) p-values.

Intermediate Results:

	LEUA	LCER	LBRENT
Rho – 1	-0.028923	-0.023932	-0.020024
Rho S.E.	0.009589	0.008881	0.007369
Residual variance	0.000112	0.000120	0.001057
Long-run residual variance	0.000112	0.000120	0.001440
Number of lags	0	0	1
Number of observations	637	637	636
Number of stochastic trends**	3	3	3

\*\*Number of stochastic trends in asymptotic distribution

Descartada la cointegración entre las series de precios en logaritmos, y dado que las mismas son no estacionarias, se aplicó la prueba ADF a las series en primeras diferencias (Tabla 6), y en todos los casos se rechazó la hipótesis nula de raíz unitaria. Por tanto, se concluye del análisis que las primeras diferencias de los logaritmos de las series de precios<sup>14</sup> son estacionarias.

**Tabla 6. Prueba ADF – Primera diferencia de los logaritmos de los precios**

Regresión	t – Statistic	p – valor
$\Delta^2 \ln EUA_t = \gamma * \Delta \ln EUA_{t-1} + \sum_{i=1}^2 \lambda_i * \Delta^2 \ln EUA_{t-i} + \varepsilon_t$	-14.10998	0.0000
$\Delta^2 \ln EUA_t = \alpha_0 + \gamma * \Delta \ln EUA_{t-1} + \sum_{i=1}^2 \lambda_i * \Delta^2 \ln EUA_{t-i} + \varepsilon_t$	-14.11539	0.0000
$\Delta^2 \ln EUA_t = \alpha_0 + \beta * t + \gamma * \Delta \ln EUA_{t-1} + \sum_{i=1}^2 \lambda_i * \Delta^2 \ln EUA_{t-i} + \varepsilon_t$	-14.12260	0.0000
$\Delta^2 \ln CER_t = \gamma * \Delta \ln CER_{t-1} + \sum_{i=1}^2 \lambda_i * \Delta^2 \ln CER_{t-i} + \varepsilon_t$	-11.14231	0.0000
$\Delta^2 \ln CER_t = \alpha_0 + \gamma * \Delta \ln CER_{t-1} + \sum_{i=1}^2 \lambda_i * \Delta^2 \ln CER_{t-i} + \varepsilon_t$	-11.13071	0.0000
$\Delta^2 \ln CER_t = \alpha_0 + \beta * t + \gamma * \Delta \ln CER_{t-1} + \sum_{i=1}^2 \lambda_i * \Delta^2 \ln CER_{t-i} + \varepsilon_t$	-11.13466	0.0000
$\Delta^2 \ln Brent_t = \gamma * \Delta \ln Brent_{t-1} + \varepsilon_t$	-24.80660	0.0000
$\Delta^2 \ln Brent_t = \alpha_0 + \gamma * \Delta \ln Brent_{t-1} + \varepsilon_t$	-24.79235	0.0000
$\Delta^2 \ln Brent_t = \alpha_0 + \beta * t + \gamma * \Delta \ln Brent_{t-1} + \varepsilon_t$	-24.80886	0.0000

Fuente: Elaboración propia

<sup>14</sup> En econometría financiera se le denomina log return a la primera diferencia de los logaritmos de los precios de los activos financieros:  $r_t = \ln(P_t) - \ln(P_{t-1})$ . La serie de log return ( $r_t$ ) presenta algunas ventajas como la aditividad en el tiempo, fácil manipulación utilizando cálculos sencillos, estas ventajas, y el hecho de que es una buena aproximación de los retornos de los activos financieros ( $R_t = \frac{P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}}$ ), hace que sea la transformación preferida para el tratamiento de los datos financieros.

## 6 ESTIMACIÓN DEL MODELO DE VARX

Antes de estimar el modelo VARX, es necesario observar la función de correlación cruzada entre la primera diferencia del logaritmo de los precios de los bonos del carbono y la primera diferencia del logaritmo del precio del petróleo Brent (variable exógena) para tratar de determinar cuáles rezagos de la variable exógena quedarán incluidos en el modelo. Las funciones de correlación cruzadas se muestran en el anexo 5. Estas funciones muestran claramente que la primera diferencia del logaritmo del precio del petróleo Brent en forma contemporánea y sus dos primeros rezagos están correlacionados con la primera diferencia del logaritmo de los precios de los bonos del carbono, y por tanto, deben ser incluidos en el modelo VARX.

El modelo VARX estimado se muestra en el anexo 6. La representación del modelo es la siguiente:

$$\begin{bmatrix} \Delta IEUA_t \\ \Delta ICER_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{1,0} \\ \alpha_{2,0} \end{bmatrix} + \sum_{j=1}^4 \begin{bmatrix} \alpha_{11,j} & \alpha_{12,j} \\ \alpha_{21,j} & \alpha_{22,j} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \Delta IEUA_{t-j} \\ \Delta ICER_{t-j} \end{bmatrix} + \sum_{k=0}^2 \begin{bmatrix} \beta_{1,k} \\ \beta_{2,k} \end{bmatrix} * \Delta IBrent_{t-k} + \begin{bmatrix} \alpha_{11,17} & \alpha_{11,29} & \alpha_{11,34} \\ \alpha_{21,17} & \alpha_{21,29} & \alpha_{21,34} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \Delta IEUA_{t-17} \\ \Delta IEUA_{t-29} \\ \Delta IEUA_{t-34} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \alpha_{12,17} & \alpha_{12,29} & \alpha_{12,34} \\ \alpha_{22,17} & \alpha_{22,29} & \alpha_{22,34} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \Delta ICER_{t-17} \\ \Delta ICER_{t-29} \\ \Delta ICER_{t-34} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_{1t} \\ u_{2t} \end{bmatrix} \quad (21)$$

Otros autores como Chevallier (2010) y Nazifi (2009) estimaron modelos VAR con orden más bajo. Ambos estimaron modelos VAR(1). Chevallier (2010) utilizó en su estimación 729 observaciones, correspondientes al periodo comprendido entre Marzo 9 del 2007 y Enero 14 de 2010. Los precios de los futuros Allowances EUA fueron tomados de ECX, y los precios sCER corresponden al índice de Reuters. El modelo VAR estimado en Nazifi (2009) utilizó datos diarios de precios de EUA y CER tomados de Point Carbon, para el periodo del 25 de Mayo del 2007 y el 1 de septiembre de 2008.

El problema es que aunque este bajo orden del VAR logra minimizar los criterios de información AIC (Akaike) y SC (Schwarz), mediante el Correlograma de los residuales y la prueba de autocorrelación de Portmanteau, se puede determinar que los residuales del VAR de tan bajo orden no son ruido blanco. Es necesario que el vector de los residuales  $U_t = \begin{bmatrix} u_{1t} \\ u_{2t} \end{bmatrix}$  sea ruido blanco, porque de lo contrario puede generarse endogeneidad y la estimación será inconsistente. Por otra parte, la forma tradicional del cálculo de la descomposición de varianza, también asume que los residuales en diferentes momentos del tiempo están incorrelacionados.

El anexo 7 muestra que efectivamente los criterios de información SC y HQ (Hannan-Quinn) son minimizados con un VAR(1) y el criterio AIC es minimizado con un VAR

(2). Sin embargo, la prueba de Portmanteau aplicada a al VAR(2) que se muestra en el anexo 8, aporta evidencia para rechazar la  $H_0$  no autocorrelación. A diferencia de lo anterior, la prueba de autocorrelación de Portmanteau aplicada a los residuales del modelo estimado en esta investigación (anexo 9) descarta la existencia de autocorrelación (se acepta la  $H_0$  de no autocorrelación).

## 6.1 Contabilidad de innovaciones

El modelo VAR es una representación de las correlaciones existentes entre las variables endógenas del modelo. Esto permite, mediante la simulación del modelo, analizar las interacciones dinámicas que caracterizan el sistema estimado, a través de la función de impulso-respuesta y el análisis de descomposición de la varianza.

Lo que se pretende mediante la contabilidad de innovaciones es aislar el efecto sobre una variable, de un shock aleatorio en una de las variables endógenas.

La función de impulso respuesta simula cómo reacciona el sistema a través del tiempo, frente a un Shock sobre una de las variables endógenas que lo componen. Se puede analizar si el shock tiene efecto permanente o transitorio sobre las variables endógenas.

Un análisis de impulso-respuesta tradicional tiene implicancias distintas dependiendo de la especificación del VAR. Si se utiliza una especificación con variables en niveles, un shock tiene un efecto transitorio sobre el nivel de las variables. Si se utiliza una especificación en variaciones porcentuales, por ejemplo, el efecto del shock es transitorio sobre la tasa de crecimiento de las variables, pero permanente en su nivel (Chumacero, 2005).

El gráfico 10 muestra las funciones de impulso respuesta correspondientes al modelo VAR estimado. Debido a que se está trabajando con las primeras diferencias de los logaritmos de las series, se puede afirmar las gráficas que los shocks sobre  $\Delta LEUA$  y  $\Delta LCER$  tienen un efecto transitorio sobre las tasas de crecimiento de los precios y permanentes sobre los niveles de precios.

Obsérvese que los shocks sobre  $\Delta LEUA$  como mejoras en la tecnología de reducción de las emisiones en la Unión Europea y mecanismos de asignación de Allowances, tienen un impacto significativo, no solo sobre la tasa de crecimiento de los precios de Allowances, también sobre la tasa de crecimiento de los precios CER de MDL. El shock afecta durante seis o siete días las tasas de crecimiento de ambos precios. En ese sentido, la función de impulso respuesta permite a un participante en el mercado secundario (como la bolsa de carbono ECX), advertir que esta clase de shock provocará movimientos u oscilaciones en las tasas de crecimiento de los precios de los bonos de carbono durante más de una semana, y efectos permanentes en los precios,

que afectaran su rentabilidad. Este conocimiento les permitirá tomar mejores decisiones al asumir posiciones cortas o largas en bonos de carbono.

Por otra parte, los shocks sobre  $\Delta LCER$  como mayores incentivos a la presentación de proyectos de MDL en los países en vías de desarrollo, por parte de sus mismos gobiernos, o cambios en los límites en la cantidad de CER de la Comunidad Europea, o en sus restricciones de aprobación, tienen un efecto casi nulo sobre la tasa de crecimiento del precio de Allowances EUA, y por tanto, sobre el mismo nivel del precio. La respuesta de la tasa de crecimiento del precio de los CER de MDL ante su propio shock tiene una duración de aproximadamente 6 días, pero responde menos a su propio shock, que al shock sobre  $\Delta LEUA$ .

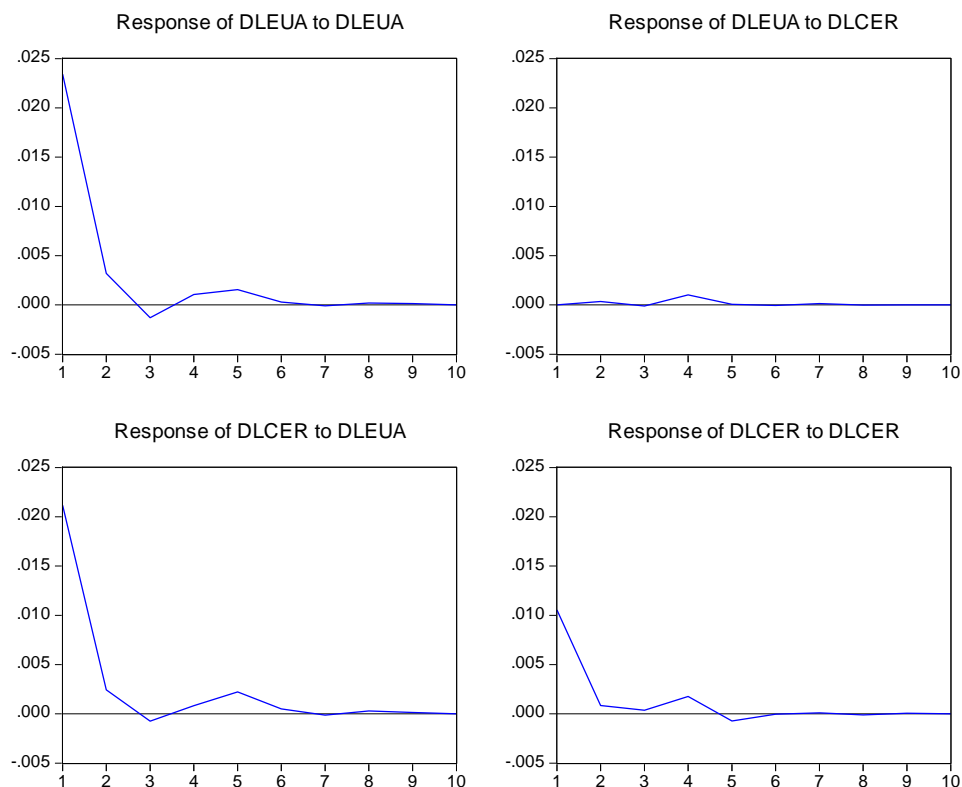
Por otra parte, la descomposición de varianza tiene como propósito valorar la importancia relativa de las innovaciones de cada variable sobre el comportamiento de las variables endógenas del modelo VAR.

La descomposición de varianza para el modelo VAR estimado puede observarse en la tabla 7. El análisis revela que la contribución de los shocks a la variable  $DLEUA$  representa más del 99% de la varianza de predicción de  $DLEUA$  y aproximadamente el 80% de la varianza de predicción de  $DLCER$ . La contribución de los shocks a la variable  $DLCER$ , sobre su misma varianza de predicción es de aproximadamente el 20%. Los shocks sobre la variable  $DLCER$  tienen un efecto prácticamente nulo sobre la varianza de predicción de  $DLEUA$ .

El análisis de descomposición de varianza deja claro que cualquier efecto externo como los ya mencionados, que afecte el mercado de Allowances tiene mayores efectos en el comportamiento de los precios de los bonos del carbono que cualquier sorpresa que se pueda presentar, y afecte el mercado de los CER de MDL.

## Gráfico 10. Funciones de Impulso Respuesta

Response to Cholesky One S.D. Innovations



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 7. Descomposición de varianza**

Variance Decomposition of DLEUA:			
Period	S.E.	DLEUA	DLCER
1	0.023429	100.0000	0.000000
2	0.023649	99.97870	0.021305
3	0.023684	99.97620	0.023804
4	0.023730	99.79261	0.207391
5	0.023781	99.79286	0.207136
6	0.023782	99.79229	0.207709
7	0.023783	99.78904	0.210956
8	0.023784	99.78901	0.210988
9	0.023784	99.78902	0.210980
10	0.023784	99.78901	0.210992

Variance Decomposition of DLCER:			
Period	S.E.	DLEUA	DLCER
1	0.023640	80.13614	19.86386
2	0.023779	80.24178	19.75822
3	0.023793	80.24201	19.75799
4	0.023873	79.82460	20.17540
5	0.023988	79.92614	20.07386
6	0.023993	79.93490	20.06510
7	0.023994	79.93394	20.06606
8	0.023996	79.93535	20.06465
9	0.023996	79.93540	20.06460
10	0.023996	79.93540	20.06460

Cholesky Ordering: DLEUA DLCER

Fuente: Elaboración propia



## 6.2 Prueba de Causalidad de Granger

Con la prueba de Causalidad de Granger se quiere determinar si al añadir el pasado de una variable en la ecuación de la otra, no se añade capacidad explicativa. El contraste consiste en analizar la significación estadística del bloque de retardos de  $\Delta\text{ICER}(\Delta\text{IEUA})$  en la ecuación de  $\Delta\text{IEUA}(\Delta\text{ICER})$ , y la hipótesis nula es que la variable  $\Delta\text{ICER}(\Delta\text{IEUA})$  no causa, en el sentido de Granger, a la variable  $\Delta\text{IEUA}(\Delta\text{ICER})$ .

### 6.2.1 $\Delta\text{ICER}$ no causa Granger a $\Delta\text{IEUA}$

$$H_0: \alpha_{12,1} = \dots \alpha_{12,4} = \alpha_{12,17} = \alpha_{12,29} = \alpha_{12,34} = 0$$

$$H_a: \text{Al menos algún } \alpha_{12,j} \text{ es diferente de cero}$$

La regresión no restringida aparece en la tabla 8. La regresión auxiliar, que incorpora la restricción de la hipótesis nula aparece en la tabla 9.

**Tabla 8. Regresión para  $\Delta\text{IEUA}$  de la prueba de Causalidad de Granger**

Vector Autoregression Estimates  
Included observations: 603 after adjustments  
Standard errors in ( ) & t-statistics in [ ]

	DLEUA	DLCER
DLEUA(-1)	0.073921	0.002280
DLEUA(-2)	-0.051093	-0.063598
DLEUA(-3)	-0.045634	-0.118723
DLEUA(-4)	0.092981	0.196357
DLCER(-1)	0.070846	0.113451
DLCER(-2)	-0.037902	0.009579
DLCER(-3)	0.125206	0.187622
DLCER(-4)	-0.028228	-0.106384
C	-0.000932	-0.000291
DLBRENT(-1)	-0.101786	-0.102269
DLBRENT(-2)	-0.070695	-0.052668
DLEUA(-17)	0.132334	0.121232
DLCER(-17)	-0.038328	-0.016361
DLEUA(-29)	-0.086215	-0.021706
DLCER(-29)	0.107888	0.081620
DLEUA(-34)	-0.144347	-0.081402
DLCER(-34)	0.097252	0.011253
R-squared	0.071955	0.071161
Adj. R-squared	0.046616	0.045800
Sum sq. Resids	0.370246	0.364271
S.E. equation	0.025136	0.024932
F-statistic	2.839669	2.805932
Log likelihood	1374.124	1379.030
Akaike AIC	-4.501242	-4.517514
Schwarz SC	-4.377141	-4.393413
Mean dependent	-0.000926	-0.000328
S.D. dependent	0.025743	0.025524
Determinant resid covariance (dof adj.)	7.01E-08	
Determinant resid covariance	6.62E-08	
Log likelihood		3272.883
Akaike information criterion		-10.74256
Schwarz criterion		-10.49436

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N°9. Regresión restringida para  $\Delta IEUA$  de la prueba de Causalidad de Granger**

Dependent Variable:  $\Delta IEUA$   
 Method: Least Squares  
 Sample (adjusted): 36 638  
 Included observations: 603 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.000828	0.001026	-0.806987	0.4200
DLEUA(-1)	0.136755	0.043517	3.142555	0.0018
DLEUA(-2)	-0.086163	0.043519	-1.979903	0.0482
DLEUA(-3)	0.072379	0.040405	1.791332	0.0737
DLEUA(-4)	0.064099	0.040352	1.588486	0.1127
DLEUA(-17)	0.092274	0.040169	2.297112	0.0220
DLEUA(-29)	0.006163	0.039844	0.154675	0.8771
DLEUA(-34)	-0.056348	0.039723	-1.418515	0.1566
DLBRENT(-1)	-0.106835	0.036690	-2.911852	0.0037
DLBRENT(-2)	-0.066736	0.036817	-1.812663	0.0704
R-squared	0.063945	Mean dependent var		-0.000926
Adjusted R-squared	0.049738	S.D. dependent var		0.025743
S.E. of regression	0.025095	Akaike info criterion		-4.515865
Sum squared resid	0.373442	Schwarz criterion		-4.442865
Log likelihood	1371.533	Hannan-Quinn criter.		-4.487454
F-statistic	4.501071	Durbin-Watson stat		2.020100
Prob(F-statistic)	0.000010			

Fuente: Elaboración propia

El contraste puede llevarse a cabo utilizando el estadístico F habitual, para el contraste de significación de un bloque de variables:

$$\lambda = \frac{SCE_R - SCE_{UR}}{j * \hat{\sigma}_{UR}^2} \sim F(j, T - K)$$

$j = N^\circ$  de Restricciones.

$$\lambda = \frac{0.373442 - 0.370246}{7 * 0.025136^2} = 0.722$$

$F(7, 585; 0.05) \approx 2.01$

Como  $\lambda < F_\alpha$  se acepta la  $H_0$ , y se concluye que  $\Delta ICER$  no causa, en el sentido de Granger, a la variable  $\Delta IEUA$  en presencia de la variable exógena  $\Delta IBrent$  y sus dos primeros rezagos.

### 6.2.2 $\Delta IEUA$ no causa Granger a $\Delta ICER$

$$H_0: \alpha_{21,1} = \dots \alpha_{21,4} = \alpha_{21,17} = \alpha_{21,29} = \alpha_{21,34} = 0$$

$H_a$ : Al menos algún  $\alpha_{21,j}$  es diferente de cero

La regresión auxiliar, que incorpora la restricción de la hipótesis nula aparece en la tabla 10.

**Tabla 10. Regresión para  $\Delta$ CER de la prueba de Causalidad de Granger**

Dependent Variable: DLCER  
 Method: Least Squares  
 Date: 03/12/11 Time: 17:52  
 Sample (adjusted): 36 638  
 Included observations: 603 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.000336	0.001018	-0.330253	0.7413
DLCER(-1)	0.116341	0.042715	2.723687	0.0066
DLCER(-2)	-0.053823	0.042412	-1.269049	0.2049
DLCER(-3)	0.078607	0.040248	1.953055	0.0513
DLCER(-4)	0.074605	0.040241	1.853942	0.0642
DLCER(-17)	0.094660	0.040488	2.337978	0.0197
DLCER(-29)	0.053519	0.040373	1.325632	0.1855
DLCER(-34)	-0.062878	0.040283	-1.560921	0.1191
DLBRENT(-1)	-0.103764	0.035865	-2.893159	0.0040
DLBRENT(-2)	-0.050634	0.036075	-1.403583	0.1610
R-squared	0.057560	Mean dependent var		-0.000328
Adjusted R-squared	0.043256	S.D. dependent var		0.025524
S.E. of regression	0.024966	Akaike info criterion		-4.526194
Sum squared resid	<b>0.369604</b>	Schwarz criterion		-4.453194
Log likelihood	1374.648	Hannan-Quinn criter.		-4.497783
F-statistic	4.024181	Durbin-Watson stat		2.008414
Prob(F-statistic)	0.000051			

Fuente: Elaboración propia

$$\lambda = \frac{0.369604 - 0.364271}{7 * 0.024932^2} = 1.225$$

 $F(7, 585; 0.05) \approx 2.01$ 

Como  $\lambda < F_{\alpha}$  se acepta la  $H_0$ , y se concluye que  $\Delta$ EUA no causa, en el sentido de Granger, a la variable  $\Delta$ CER en presencia de los dos primeros rezagos de la variable  $\Delta$ Brent.

En contradicción con los hallazgos de esta investigación, Chevallier (2010) encontró evidencia para rechazar la  $H_0$  y determinó que existe causalidad en ambas direcciones, de los sCER a EUA y de EUA a los sCER. Concluyendo que ambos precios están interrelacionados.

Nazifi (2009) realizó pruebas de causalidad de Granger con las variables en niveles y en primeras diferencias y encontró causalidad de los EUA a los sCER, pero no de los sCER a EUA. El concluye entonces que la evidencia estadística no soporta un efecto sustitución fuerte de EUA por CER, lo que es justificado por las restricciones de acceso a los CER. Esto limitaría la capacidad de de los CER para causar efectos significativos sobre los precios de EUA.

Sin embargo, lo que revela esta investigación, es que el principal determinante de los precios de los bonos del carbono es el precio del petróleo Brent, y la inclusión de los rezagos de los retornos del otro bono del carbono no afecta significativamente la capacidad explicativa del modelo de los retornos de cualquier bono del carbono en particular.

Esta conclusión es soportada por las prueba de hipótesis:

$$H_0: \beta_{1,1} = \beta_{1,2} = 0$$

$$\lambda = \frac{0.377803 - 0.370246}{3 * 0.025136^2} = 3.98$$

$$F(3,585; 0.05) \approx 2.60$$

Como  $\lambda > F_\alpha$  se rechaza la  $H_0$ , y se concluye que los rezagos de  $\Delta lbrent$  si explican los retornos de los Allowances de la unión Europea.

$$H_0: \beta_{2,1} = \beta_{2,2} = 0$$

$$\lambda = \frac{0.370744 - 0.364271}{3 * 0.024932^2} = 3.47$$

$$F(3,585; 0.05) \approx 2.60$$

Como  $\lambda > F_\alpha$  se rechaza la  $H_0$ , y se concluye que los rezagos de  $\Delta lbrent$  si explican los retornos de los CER de MDL. Las regresiones restringidas aparecen en las tablas 11 y 12.

**Tabla N°11. Regresión auxiliar para  $\Delta IEUA$  de la prueba de Causalidad de Granger**

Dependent Variable: DLEUA  
Method: Least Squares  
Included observations: 603 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.000887	0.001042	-0.851408	0.3949
DLEUA(-1)	0.023909	0.097749	0.244600	0.8069
DLEUA(-2)	-0.074519	0.097461	-0.764600	0.4448
DLEUA(-3)	-0.044847	0.096525	-0.464620	0.6424
DLEUA(-4)	0.097510	0.095909	1.016689	0.3097
DLEUA(-17)	0.121669	0.094951	1.281377	0.2006
DLEUA(-29)	-0.087630	0.094817	-0.924204	0.3558
DLEUA(-34)	-0.136634	0.095012	-1.438059	0.1509
DLCER(-1)	0.089688	0.098252	0.912832	0.3617
DLCER(-2)	-0.042631	0.097696	-0.436359	0.6627
DLCER(-3)	0.124975	0.097180	1.286011	0.1989
DLCER(-4)	-0.033317	0.096909	-0.343795	0.7311
DLCER(-17)	-0.023705	0.096040	-0.246821	0.8051
DLCER(-29)	0.119966	0.096666	1.241039	0.2151
DLCER(-34)	0.089937	0.096837	0.928746	0.3534
R-squared	0.053015	Mean dependent var		-0.000926
Adjusted R-squared	0.030467	S.D. dependent var		0.025743
S.E. of regression	0.025348	Akaike info criterion		-4.487672
Sum squared resid	0.377803	Schwarz criterion		-4.378172
Log likelihood	1368.033	Hannan-Quinn criter.		-4.445055
F-statistic	2.351260	Durbin-Watson stat		2.010323
Prob(F-statistic)	0.003567			

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N°12. Regresión Restringida para  $\Delta$ ICER de la prueba de Causalidad de Granger**

Dependent Variable: DLCER  
 Method: Least Squares  
 Included observations: 603 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.000250	0.001032	-0.241994	0.8089
DLEUA(-1)	-0.048465	0.096832	-0.500503	0.6169
DLEUA(-2)	-0.077984	0.096546	-0.807736	0.4196
DLEUA(-3)	-0.120309	0.095619	-1.258214	0.2088
DLEUA(-4)	0.201906	0.095009	2.125128	0.0340
DLEUA(-17)	0.112773	0.094060	1.198944	0.2310
DLEUA(-29)	-0.022328	0.093927	-0.237722	0.8122
DLEUA(-34)	-0.075572	0.094121	-0.802922	0.4223
DLCER(-1)	0.130236	0.097330	1.338091	0.1814
DLCER(-2)	0.003322	0.096779	0.034324	0.9726
DLCER(-3)	0.189147	0.096268	1.964789	0.0499
DLCER(-4)	-0.111987	0.096000	-1.166530	0.2439
DLCER(-17)	-0.005283	0.095139	-0.055534	0.9557
DLCER(-29)	0.092836	0.095758	0.969484	0.3327
DLCER(-34)	0.006489	0.095928	0.067646	0.9461
R-squared	0.054653	Mean dependent var		-0.000328
Adjusted R-squared	0.032145	S.D. dependent var		0.025524
S.E. of regression	0.025110	Akaike info criterion		-4.506531
Sum squared resid	0.370744	Schwarz criterion		-4.397031
Log likelihood	1373.719	Hannan-Quinn criter.		-4.463914
F-statistic	2.428131	Durbin-Watson stat		2.007502
Prob(F-statistic)	0.002537			

Fuente: Elaboración propia

## 7 CONCLUSIONES

1. La estrategia mundial contra el calentamiento global producto de los gases de efecto invernadero, mediante el protocolo de Kioto, involucra tres instrumentos económicos denominados mecanismos de flexibilidad, que tienen como propósito permitir a los países desarrollados cumplir con sus compromisos de reducción de gases de efecto invernadero al menor costo posible.
2. Los países en desarrollo como Colombia no tienen compromisos de reducción de la contaminación en el protocolo de Kioto, sin embargo, la reducción y captura de emisiones de GEI mediante Mecanismos de desarrollo Limpio, ofrece para el país oportunidades para la cooperación y realización de negocios con gobiernos y empresas de países industrializados, que contribuyan a la disminución de las causas del fenómeno de cambio climático y situar al país en una senda del desarrollo sostenible.
3. El CONPES 3242 de 2003 denominado Estrategia institucional para la venta de servicios ambientales de mitigación del cambio climático, plasma la política pública de Colombia para la promoción de su participación en el mercado internacional de reducciones verificadas de emisiones.
4. Según estadísticas del MAVDT solo el 37.2% del portafolio total de proyectos de Colombia ha recibido aprobación nacional y menos del 5% han logrado emitir CER. Estas estadísticas nacionales son una muestra de los problemas que afrontan los proyectos de MDL. Todo el ciclo de un proyecto de MDL es un procedimiento complicado, lento y burocrático, que genera una alta tasa de mortalidad de proyectos y se considera una barrera para la puesta en práctica de proyectos que promuevan el desarrollo sostenible en los países más pobres. Por otra parte, el requisito de adicionalidad de los proyectos de MDL restringe considerablemente el conjunto de proyectos elegibles.
5. Para mitigar los riesgos de este tipo de proyectos, los gestores de proyectos en el país anfitrión pueden optar por una alianza estratégica con fondos de inversores que compartan el riesgo, o contratar consultores y gestores especializados en estos proyectos. Esto reduce significativamente los márgenes de la venta de los créditos de carbono, lo que tiende a desincentivar este tipo de proyectos.
6. Cuando los dueños de proyectos de MDL optan por un modelo unilateral y asumen todos los riesgos de los proyectos, es especialmente importante que

estén informados sobre las tendencias del mercado de los Bonos del carbono. El análisis de los precios del mercado secundario que fija el precio de referencia de los CER es muy importante para la toma de decisiones. Los dueños de proyectos de MDL con CER ya emitidos tienen la libertad de venderlos de dos formas básicamente: al precio Spot del momento, o si ese precio está demasiado bajo, o esperar y venderlos a empresas que los usarán para cumplir sus compromisos de acuerdo con el plan de asignación en su país, tomando en cuenta el precio de los Futuros.

7. El análisis del mercado de bonos de carbono a través de un modelo de vectores autorregresivos, permite determinar la influencia de choques en el mercado de derechos de emisión sobre el precio de los CERs de MDL. Esta información puede ser de gran utilidad para los dueños de los proyectos de MDL, ya que tendrán algún nivel de certeza sobre la evolución futura de los precios de los CER, antes de acordar una posición corta.
8. Las funciones de impulso respuesta del modelo VAR estimado permitió determinar que shocks en el mercado de Allowances de la Unión Europea, como mejoras en la tecnología de reducción de las emisiones en la Unión Europea y mecanismos de asignación de Allowances, tienen un impacto significativo, no solo sobre la tasa de crecimiento de los precios de Allowances, sino también sobre la tasa de crecimiento de los precios CER de MDL. El shock afecta durante seis o siete días las tasas de crecimiento de ambos precios. En ese sentido, la función de impulso respuesta permite a un participante en el mercado secundario (como la bolsa de carbono ECX), advertir que esta clase de shock provocará movimientos u oscilaciones en las tasas de crecimiento de los precios de los bonos de carbono durante más de una semana, y efectos permanentes en los precios, que afectaran su rentabilidad. Este conocimiento les permitirá tomar mejores decisiones al asumir posiciones cortas o largas en bonos de carbono.
9. Por otra parte, los shocks en el mercado de los CER de MDL como mayores incentivos a la presentación de proyectos de MDL en los países en vías de desarrollo, por parte de sus mismos gobiernos, o cambios en los límites en la cantidad de CER de la Comunidad Europea, o en sus restricciones de aprobación, tienen un efecto casi nulo sobre la tasa de crecimiento del precio de Allowances EUA, y por tanto, sobre el mismo nivel del precio. La respuesta de la tasa de crecimiento del precio de los CER de MDL ante su propio shock tiene una duración de aproximadamente 6 días, pero responde menos a su propio shock, que al shock sobre el mercado de Allowances Europeos.
10. La descomposición de varianza para el modelo VAR estimado revela que la contribución de los shocks en el mercado de Allowances representa más del 99% de la varianza de predicción de la tasa de crecimiento de los precios de

Allowances Europeos, y aproximadamente el 80% de la varianza de predicción de la tasa de crecimiento de los precios CERs. La contribución de los shocks en el mercado de CERs, sobre la varianza de predicción de la tasa de crecimiento de los precios CERs, es de aproximadamente el 20%. Los shocks en el mercado de CERs tienen un efecto prácticamente nulo sobre la varianza de predicción de la tasa de crecimiento de los precios EUA.

11. El análisis de descomposición de varianza deja claro que cualquier efecto externo como los ya mencionados, que afecte el mercado de Allowances tiene mayores efectos en el comportamiento de los precios de los bonos del carbono que cualquier sorpresa que se pueda presentar, y afecte el mercado de los CER de MDL.
12. El principal determinante de los precios de los bonos del carbono según el modelo VAR estimado, es el precio del petróleo Brent y sus rezagos. La inclusión de los rezagos de del otro bono del carbono no afecta significativamente la capacidad explicativa del modelo de la tasa de crecimiento del precio de cualquier bono del carbono en particular.



## 8 BIBLIOGRAFIA

Aguilar, W. (2006). Permisos de contaminación negociables: un instrumento de mercado para la regulación ambiental. *Análisis Económico*, vol. XXI, número 048, pp. 257-288

Black, T. (2007). Comportamiento de precios de CER en el Mercado internacional de carbono. Boletín 12, Centro Andino para la Economía en el Medio Ambiente. En <http://www.andeancenter.com/boletin/boletines.html>

Cavallucci, O. (2009). Como está aprovechando el Ecuador las oportunidades del MDL. Tesis (Maestría en Relaciones Internacionales. Mención en Negociaciones Internacionales y Manejo de Conflictos). Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador. En: [repositorio.uasb.edu.ec/.../T696-MRI-Cavallucci-Cómo%20está%20aprovechando%20el%20Ecuador.pdf](http://repositorio.uasb.edu.ec/.../T696-MRI-Cavallucci-Cómo%20está%20aprovechando%20el%20Ecuador.pdf)

Cavallucci, O. (2009b). El Esquema Europeo de Compra-Venta de Derechos de Emisión (EU-ETS) y la Iniciativa Yasuní-ITT. Consejo de Administrativo y Directivo Iniciativa Yasuní-ITT. En: [www.wunderman.com.ec/yasuni-itt/.../Analisis\\_Mercado\\_Carbono.pdf](http://www.wunderman.com.ec/yasuni-itt/.../Analisis_Mercado_Carbono.pdf)

CMNUCC, (1997). Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 5-16, Kioto, Japón. En: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>

CONPES 3242, (2003). Consejo Nacional de Política Económica y Social. Documento). Estrategia Institucional para la Venta de Servicios Ambientales de Mitigación del Cambio Climático, Bogotá DC. Recuperado de Departamento Nacional de planeación el 20 de Marzo de 2010 en: [http://www.dnp.gov.co/archivos/documentos/Subdireccion\\_Conpes/3242.PDF](http://www.dnp.gov.co/archivos/documentos/Subdireccion_Conpes/3242.PDF)

Chevallier, J. (2010). EUAs and CERs: Vector Autoregression, Impulse Response Function and Cointegration Analysis. *Economics Bulletin*, vol. 30(1), pages 558-576

Godoy, M. (2008). Mecanismos del Protocolo de Kioto: Desarrollo y oportunidades para Argentina. Bolsa de Comercio de Rosario. En: <http://www.bcr.com.ar/Publicaciones/Ediciones%20BCR/Archivos%20de%20cortes%20C3%ADa/Lecturas%2013/NataliaGodoy%20MecanismoPKenero.pdf>

Nazifi, F. (2009). The Price Impacts of Linking the EU ETS to the CDM. Economics Department, Macquarie University, Australia. En: [www.iaee.org/en/students/best\\_papers/Nazifi.pdf](http://www.iaee.org/en/students/best_papers/Nazifi.pdf)

Dales, J., (1968). Pollution, Property and Prices. University of Toronto Press, Toronto.

Dolado, J., Jenkinson, T., Sosvilla, S. (1990). Cointegration and unit roots. *Journal of Economic Surveys*, 4, 249-273.

Enders, W. (2004). Applied Econometrics Time Series. John Wiley & Sons.

Montgomery, W. D. (1972). "Markets in Licenses and Efficient Pollution Control Programs" en *Journal of Economic Theory* 5(3): 395-418.

Restrepo, P., Tobón, D., Flórez, J. (2008). Institucionalidad en torno a los mercados de carbono y los mecanismos de flexibilización derivados del Protocolo de Kioto. *Revista de la Facultad Ingeniería Universidad de Antioquia*, N° 46, 46-57.

OLADE (2007). Organización Latinoamericana de Energía. El mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) en América Latina y el Caribe: Lecciones aprendidas a nivel regional, Quito, Ecuador. Recuperado de Organización Latinoamericana de Energía el 4 de Marzo de 2010 en: <http://www.olade.org/documentos/Lecciones%20Aprendidas%20A%20Nivel%20Regional.pdf>

Valenzuela, D. (2004). Aspectos financieros de un proyecto bajo el MDL. Taller internacional: proyectos de generación eléctrica bajo el mecanismo de desarrollo limpio. En: [http://cd4cdm.org/Latin%20America/Ecuador/WorkshopElectricGeneration/13b-AspectosFinancierosMDL\\_Valenzuela.pdf](http://cd4cdm.org/Latin%20America/Ecuador/WorkshopElectricGeneration/13b-AspectosFinancierosMDL_Valenzuela.pdf)

World Bank (2007). State and Trends of the Carbon Market 2007

Yábar, A. (2001). Los mecanismos de flexibilidad de Kioto, otros instrumentos de lucha contra el cambio climático y su aplicación en la Unión Europea. *Observatorio Medioambiental*, número 4, 307-338.

Yábar, A. (2008). Cambio climático: planteamientos y análisis Desde una perspectiva multidisciplinar. En: <http://www.encuentros-multidisciplinares.org/Revistan%C2%BA20/Ana%20Yabar%20Sterling.pdf>

## ANEXOS

### ANEXO 1. Países del anexo B del Protocolo de kioto

Parte	Compromiso cuantificado de limitación o reducción de las emisiones (% del nivel del año o período de base)
Alemania	92
Australia	108
Austria	92
Bélgica	92
Bulgaria*	92
Canadá	94
Comunidad Europea	92
Croacia*	95
Dinamarca	92
Eslovaquia*	92
Eslovenia*	92
España	92
Estados Unidos de América	93
Estonia*	92
Federación de Rusia*	100
Finlandia	92
Francia	92
Grecia	92
Hungría*	94
Irlanda	92
Islandia	110
Italia	92
Japón	94
Letonia*	92
Liechtenstein	92
Lituania*	92
Luxemburgo	92
Mónaco	92
Noruega	101
Nueva Zelandia	100
Países Bajos	92
Polonia*	94
Portugal	92
Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte	92
República Checa*	92
Rumania*	92
Suecia	92
Suiza	92
Ucrania*	100

-----

---

\* Países que están en proceso de transición a una economía de mercado.

## ANEXO 2

Dependent Variable:  $\ln \sigma_{EUA_t}^2$

Method: Least Squares

Included observations: 58

Variable	Coefficient t	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-2.045144	0.630373	-3.244336	0.0020
$\ln \sigma_{EUA_t}$	1.062999	0.514818	2.064807	0.0436
R-squared	0.070747	Mean dependent var	-0.750135	
Adjusted R-squared	0.054153	S.D. dependent var	0.496156	
S.E. of regression	0.482535	Akaike info criterion	1.414347	
Sum squared resid	13.03903	Schwarz criterion	1.485396	
Log likelihood	-39.01605	F-statistic	4.263428	
Durbin-Watson stat	1.362535	Prob(F-statistic)	0.043583	

Wald Test:

Equation: EUA

Test Statistic	Value	df	Probability
F-statistic	0.014975	(1, 56)	0.9030
Chi-square	0.014975	1	0.9026

Null Hypothesis Summary:

Normalized Restriction (= 0)	Value	Std. Err.
-1 + C(2)	0.062999	0.514818

Restrictions are linear in coefficients.

### ANEXO 3

Dependent Variable:  $\sigma_{CER,t}^2$   
 Method: Least Squares  
 Date: 09/24/10 Time: 09:21  
 Sample: 1 58  
 Included observations: 58

Variable	Coefficien t	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-2.380667	0.796810	-2.987746	0.0042
$\mu_{CER,t}$	1.292696	0.701547	1.842637	0.0707
R-squared	0.057165	Mean dependent var	-0.917729	
Adjusted R-squared	0.040328	S.D. dependent var	0.525565	
S.E. of regression	0.514859	Akaike info criterion	1.544026	
Sum squared resid	14.84445	Schwarz criterion	1.615076	
Log likelihood	-42.77675	F-statistic	3.395309	
Durbin-Watson stat	1.356281	Prob(F-statistic)	0.070678	

Wald Test:

Equation: Untitled

Test Statistic	Value	df	Probability
F-statistic	0.174068	(1, 56)	0.6781
Chi-square	0.174068	1	0.6765

Null Hypothesis Summary:

Normalized Restriction (= 0)	Value	Std. Err.
-1 + C(2)	0.292696	0.701547

Restrictions are linear in coefficients.

## ANEXO 4

## CORRELOGRAMAS

## i. IEUA

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
1	0.995	0.995	524.51	0.000	
2	0.989	-0.088	1043.6	0.000	
3	0.983	0.012	1557.4	0.000	
4	0.976	-0.026	2065.6	0.000	
5	0.970	0.001	2568.4	0.000	
6	0.964	-0.014	3065.6	0.000	
7	0.958	0.045	3557.6	0.000	
8	0.953	0.039	4045.2	0.000	
9	0.947	-0.084	4527.4	0.000	
10	0.941	0.048	5004.8	0.000	
11	0.935	-0.046	5476.9	0.000	
12	0.929	0.037	5944.2	0.000	
13	0.924	0.076	6407.4	0.000	
14	0.919	-0.001	6866.8	0.000	
15	0.915	-0.003	7322.4	0.000	
16	0.911	0.055	7774.8	0.000	
17	0.906	-0.071	8223.4	0.000	
18	0.900	-0.105	8667.2	0.000	
19	0.894	-0.037	9105.5	0.000	
20	0.887	0.015	9538.5	0.000	
21	0.881	0.037	9966.6	0.000	
22	0.876	0.028	10390.0	0.000	
23	0.870	0.017	10809.0	0.000	
24	0.865	0.006	11224.0	0.000	
25	0.860	0.002	11635.0	0.000	
26	0.856	0.058	12043.0	0.000	
27	0.851	-0.040	12447.0	0.000	
28	0.846	-0.058	12846.0	0.000	
29	0.841	0.072	13242.0	0.000	
30	0.836	-0.028	13634.0	0.000	
31	0.832	-0.005	14023.0	0.000	
32	0.826	-0.057	14408.0	0.000	
33	0.821	-0.040	14788.0	0.000	
34	0.815	-0.024	15163.0	0.000	
35	0.809	0.011	15534.0	0.000	
36	0.802	-0.006	15899.0	0.000	

## ii. ICER

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
1	0.993	0.993	522.86	0.000	
2	0.986	-0.030	1039.2	0.000	
3	0.979	0.001	1549.2	0.000	
4	0.971	-0.067	2052.0	0.000	
5	0.962	-0.092	2546.2	0.000	
6	0.953	-0.021	3031.8	0.000	
7	0.944	0.037	3509.3	0.000	
8	0.935	0.039	3979.2	0.000	
9	0.926	-0.048	4440.9	0.000	
10	0.918	0.064	4895.3	0.000	
11	0.910	0.024	5342.9	0.000	
12	0.903	-0.001	5784.1	0.000	
13	0.896	0.058	6219.5	0.000	
14	0.889	-0.002	6649.4	0.000	
15	0.883	-0.010	7073.9	0.000	
16	0.878	0.076	7494.1	0.000	
17	0.872	-0.053	7909.4	0.000	
18	0.865	-0.072	8319.2	0.000	
19	0.858	-0.056	8722.8	0.000	
20	0.850	-0.001	9120.3	0.000	
21	0.843	0.039	9512.0	0.000	
22	0.836	0.033	9898.2	0.000	
23	0.830	0.047	10279.0	0.000	
24	0.824	0.021	10656.0	0.000	
25	0.818	-0.015	11027.0	0.000	
26	0.812	0.004	11394.0	0.000	
27	0.806	-0.029	11756.0	0.000	
28	0.799	-0.059	12113.0	0.000	
29	0.794	0.094	12467.0	0.000	
30	0.788	-0.049	12815.0	0.000	
31	0.782	-0.008	13159.0	0.000	
32	0.776	-0.055	13498.0	0.000	
33	0.769	-0.036	13831.0	0.000	
34	0.761	-0.046	14159.0	0.000	
35	0.753	0.011	14481.0	0.000	
36	0.745	0.012	14796.0	0.000	

## iii. IBRENT

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
1	0.997	0.997	526.39	0.000	
2	0.993	-0.083	1049.6	0.000	
3	0.989	0.032	1569.8	0.000	
4	0.985	0.046	2087.4	0.000	
5	0.982	-0.079	2601.9	0.000	
6	0.977	-0.017	3113.2	0.000	
7	0.974	0.086	3621.7	0.000	
8	0.971	-0.003	4127.6	0.000	
9	0.967	-0.010	4631.0	0.000	
10	0.963	-0.017	5131.5	0.000	
11	0.960	-0.031	5629.0	0.000	
12	0.956	-0.050	6123.3	0.000	
13	0.951	-0.007	6614.1	0.000	
14	0.947	-0.011	7101.5	0.000	
15	0.942	-0.081	7584.9	0.000	
16	0.937	-0.014	8064.1	0.000	
17	0.932	0.036	8539.4	0.000	
18	0.928	0.019	9011.1	0.000	
19	0.924	0.019	9479.3	0.000	
20	0.919	-0.103	9943.4	0.000	
21	0.913	-0.036	10403.0	0.000	
22	0.908	-0.042	10858.0	0.000	
23	0.902	-0.049	11308.0	0.000	
24	0.896	-0.012	11753.0	0.000	
25	0.889	-0.069	12192.0	0.000	
26	0.882	-0.075	12625.0	0.000	
27	0.875	-0.021	13052.0	0.000	
28	0.868	0.008	13473.0	0.000	
29	0.861	-0.077	13888.0	0.000	
30	0.853	-0.030	14296.0	0.000	
31	0.845	-0.007	14697.0	0.000	
32	0.837	-0.041	15092.0	0.000	
33	0.829	-0.052	15480.0	0.000	
34	0.821	0.063	15861.0	0.000	
35	0.813	-0.079	16235.0	0.000	
36	0.805	0.058	16603.0	0.000	



























## ANEXO 5

## Función de correlación cruzada

Sample: 1 638

Included observations: 637



























Correlations are asymptotically consistent approximations

DLCER,DLBRENT(-i)	DLCER,DLBRENT(+i)	i	lag	lead
		0	0.3076	0.3076
		1	-0.0956	0.0277
		2	-0.1029	-0.0337
		3	-0.0235	0.0369
		4	0.0389	0.0403
		5	0.0254	0.0608
		6	-0.0152	-0.0697
		7	0.0720	0.0159
		8	0.0440	0.0917
		9	-0.0333	0.0008
		10	0.0547	-0.0354
		11	-0.0343	0.0338
		12	-0.0394	0.0449

Sample: 1 638

Included observations: 637

Correlations are asymptotically consistent approximations

DLEUA,DLBRENT(-i)	DLEUA,DLBRENT(+i)	i	lag	lead
		0	0.3579	0.3579
		1	-0.0836	0.0126
		2	-0.1325	-0.0222
		3	-0.0281	0.0214
		4	0.0138	0.0489
		5	0.0285	0.0788
		6	-0.0566	-0.0699
		7	0.0478	0.0068
		8	0.0470	0.0687
		9	-0.0182	-0.0142
		10	0.0706	-0.0251
		11	-0.0228	0.0401
		12	-0.0476	0.0491

## ANEXO 6

**Vector Autoregression Estimates**

Included observations: 603 after adjustments

Standard errors in ( ) &amp; t-statistics in [ ]

	DLEUA	DLCER
DLEUA(-1)	0.106991 (0.09211) [ 1.16151]	0.031114 (0.09294) [ 0.33476]
DLEUA(-2)	-0.057304 (0.09185) [-0.62387]	-0.069014 (0.09268) [-0.74465]
DLEUA(-3)	-0.028405 (0.08940) [-0.31773]	-0.103702 (0.09021) [-1.14962]
DLEUA(-4)	0.065645 (0.08876) [ 0.73956]	0.172523 (0.08956) [ 1.92630]
DLCER(-1)	0.032762 (0.09105) [ 0.35982]	0.080246 (0.09187) [ 0.87346]
DLCER(-2)	-0.017514 (0.09045) [-0.19364]	0.027355 (0.09126) [ 0.29975]
DLCER(-3)	0.099887 (0.08996) [ 1.11041]	0.165546 (0.09077) [ 1.82389]
DLCER(-4)	-0.017298 (0.08962) [-0.19302]	-0.096854 (0.09042) [-1.07112]
C	-0.000716 (0.00096) [-0.74329]	-0.000103 (0.00097) [-0.10562]
DLBRENT	0.306056 (0.03235) [ 9.46122]	0.266847 (0.03264) [ 8.17553]
DLBRENT(-1)	-0.104905 (0.03435) [-3.05391]	-0.104988 (0.03466) [-3.02907]
DLBRENT(-2)	-0.075782 (0.03461) [-2.18961]	-0.057104 (0.03492) [-1.63520]
DLEUA(-17)	0.112521 (0.08789) [ 1.28024]	0.103957 (0.08868) [ 1.17224]



DLCER(-17)	-0.007828 (0.08909) [-0.08787]	0.010232 (0.08989) [ 0.11382]
DLEUA(-29)	-0.085920 (0.08765) [-0.98023]	-0.021449 (0.08844) [-0.24252]
DLCER(-29)	0.133253 (0.08945) [ 1.48975]	0.103735 (0.09025) [ 1.14940]
DLEUA(-34)	-0.114368 (0.08795) [-1.30038]	-0.055264 (0.08874) [-0.62275]
DLCER(-34)	0.038438 (0.08986) [ 0.42776]	-0.040026 (0.09067) [-0.44145]
R-squared	0.195115	0.166403
Adj. R-squared	0.171725	0.142179
Sum sq. resids	0.321111	0.326918
S.E. equation	0.023429	0.023640
F-statistic	8.341892	6.869315
Log likelihood	1417.052	1411.649
Akaike AIC	-4.640306	-4.622383
Schwarz SC	-4.508906	-4.490983
Mean dependent	-0.000926	-0.000328
S.D. dependent	0.025743	0.025524
Determinant resid covariance (dof adj.)		6.09E-08
Determinant resid covariance		5.73E-08
Log likelihood		3316.006
Akaike information criterion		-10.87896
Schwarz criterion	-10.61616	

## ANEXO 7

VAR Lag Order Selection Criteria

Endogenous variables: DLEUA

DLCER

Exogenous variables: C DLBRENT DLBRENT(-1) DLBRENT(-2)

Date: 09/29/10 Time: 08:59

Sample: 1 638

Included observations: 629

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	3434.640	NA	6.36e-08	-10.89552	-10.83899*	-10.87356*
1	3439.809	10.23973*	6.33e-08*	-10.89923*	-10.81445	-10.86630
2	3443.092	6.483327	6.35e-08	-10.89695	-10.78391	-10.85304
3	3446.496	6.699899	6.36e-08	-10.89506	-10.75375	-10.84017
4	3451.148	9.125410	6.35e-08	-10.89713	-10.72756	-10.83126
5	3452.373	2.396636	6.40e-08	-10.88831	-10.69048	-10.81146
6	3452.618	0.476629	6.48e-08	-10.87637	-10.65028	-10.78854
7	3453.584	1.877870	6.54e-08	-10.86672	-10.61237	-10.76792
8	3454.945	2.635200	6.60e-08	-10.85833	-10.57572	-10.74855

\* indicates lag order selected by the criterion

LR: sequential modified LR test statistic (each test at 5% level)

FPE: Final prediction error

AIC: Akaike information criterion

SC: Schwarz information criterion

## ANEXO 8

VAR Residual Portmanteau Tests for Autocorrelations

Null Hypothesis: no residual autocorrelations up to lag h

Date: 09/29/10 Time: 09:07

Sample: 1 638

Included observations: 635

Lags	Q-Stat	Prob.	Adj Q-Stat	Prob.	df
1	0.031963	NA*	0.032014	NA*	NA*
2	0.229520	NA*	0.230195	NA*	NA*
3	8.230920	0.0835	8.269576	0.0822	4
4	16.51098	0.0356	16.60213	0.0345	8
5	19.30227	0.0815	19.41557	0.0790	12
6	20.11577	0.2151	20.23683	0.2097	16
7	22.18404	0.3306	22.32815	0.3230	20
8	24.08508	0.4567	24.25345	0.4472	24
9	28.87176	0.4191	29.10895	0.4070	28
10	30.75757	0.5293	31.02493	0.5157	32
11	41.52867	0.2424	41.98590	0.2274	36
12	46.42796	0.2245	46.97957	0.2082	40
13	51.28030	0.2098	51.93332	0.1922	44
14	52.28045	0.3113	52.95601	0.2888	48
15	53.27600	0.4249	53.97565	0.3988	52
16	58.02692	0.4005	58.84938	0.3716	56
17	63.62769	0.3500	64.60421	0.3190	60
18	68.14162	0.3383	69.24982	0.3049	64
19	79.64081	0.1580	81.10370	0.1324	68
20	85.26719	0.1359	86.91305	0.1111	72
21	87.49203	0.1730	89.21398	0.1426	76
22	93.39958	0.1452	95.33355	0.1162	80
23	100.1156	0.1108	102.3020	0.0851	84
24	108.3855	0.0693	110.8967	0.0500	88
25	114.5473	0.0558	117.3111	0.0387	92
26	119.3434	0.0535	122.3119	0.0363	96
27	120.0613	0.0838	123.0617	0.0586	100
28	123.4822	0.0934	126.6403	0.0650	104
29	134.8888	0.0408	138.5928	0.0252	108
30	135.2195	0.0669	138.9399	0.0430	112

\*The test is valid only for lags larger than the VAR lag order.

df is degrees of freedom for (approximate) chi-square distribution

## ANEXO 9

### VAR Residual Portmanteau Tests for Autocorrelations

Null Hypothesis: no residual autocorrelations up to lag h

Date: 09/29/10 Time: 09:11

Sample: 1 638

Included observations: 603

Lags	Q-Stat	Prob.	Adj Q-Stat	Prob.	df
1	0.064892	NA*	0.065000	NA*	NA*
2	0.253527	NA*	0.254262	NA*	NA*
3	0.767573	NA*	0.770879	NA*	NA*
4	0.981436	NA*	0.986170	NA*	NA*
5	4.412321	0.3531	4.445741	0.3490	4
6	5.731144	0.6773	5.777819	0.6721	8
7	6.754689	0.8734	6.813385	0.8697	12
8	9.382396	0.8968	9.476422	0.8925	16
9	14.25241	0.8175	14.42023	0.8086	20
10	15.83891	0.8938	16.03348	0.8869	24
11	26.81942	0.5281	27.21802	0.5064	28
12	31.99186	0.4671	32.49548	0.4424	32
13	35.60745	0.4871	36.19074	0.4597	36
14	37.84949	0.5675	38.48607	0.5385	40
15	38.77697	0.6945	39.43721	0.6673	44
16	42.54037	0.6954	43.30319	0.6654	48
17	43.03099	0.8077	43.80805	0.7833	52
18	45.64180	0.8371	46.49918	0.8133	56
19	55.90171	0.6262	57.09289	0.5826	60
20	63.39633	0.4978	64.84462	0.4470	64
21	64.66187	0.5924	66.15583	0.5407	68
22	72.09741	0.4746	73.87291	0.4167	72
23	80.32840	0.3451	82.43030	0.2873	76
24	87.60485	0.2626	90.00837	0.2082	80
25	94.72748	0.1988	97.43907	0.1499	84
26	99.06965	0.1972	101.9769	0.1464	88
27	99.96530	0.2677	102.9145	0.2051	92
28	105.9336	0.2293	109.1735	0.1690	96
29	107.7039	0.2816	111.0332	0.2119	100
30	109.0269	0.3486	112.4254	0.2693	104

\*The test is valid only for lags larger than the VAR lag order.

df is degrees of freedom for (approximate) chi-square distribution

## ANEXO 10

Vector Autoregression Estimates

Date: 10/21/10 Time: 15:38

Sample (adjusted): 36 638

Included observations: 603 after adjustments

Standard errors in ( ) & t-statistics in [ ]

	DLCER	DLEUA
DLCER(-1)	0.130236 (0.09733) [ 1.33809]	0.089688 (0.09825) [ 0.91283]
DLCER(-2)	0.003322 (0.09678) [ 0.03432]	-0.042631 (0.09770) [-0.43636]
DLCER(-3)	0.189147 (0.09627) [ 1.96479]	0.124975 (0.09718) [ 1.28601]
DLCER(-4)	-0.111987 (0.09600) [-1.16653]	-0.033317 (0.09691) [-0.34379]
DLEUA(-1)	-0.048465 (0.09683) [-0.50050]	0.023909 (0.09775) [ 0.24460]
DLEUA(-2)	-0.077984 (0.09655) [-0.80774]	-0.074519 (0.09746) [-0.76460]
DLEUA(-3)	-0.120309 (0.09562) [-1.25821]	-0.044847 (0.09652) [-0.46462]
DLEUA(-4)	0.201906 (0.09501) [ 2.12513]	0.097510 (0.09591) [ 1.01669]
C	-0.000250 (0.00103) [-0.24199]	-0.000887 (0.00104) [-0.85141]
DLEUA(-17)	0.112773 (0.09406) [ 1.19894]	0.121669 (0.09495) [ 1.28138]
DLCER(-17)	-0.005283	-0.023705

	(0.09514)	(0.09604)
	[-0.05553]	[-0.24682]
DLEUA(-29)	-0.022328	-0.087630
	(0.09393)	(0.09482)
	[-0.23772]	[-0.92420]
DLCER(-29)	0.092836	0.119966
	(0.09576)	(0.09667)
	[ 0.96948]	[ 1.24104]
DLEUA(-34)	-0.075572	-0.136634
	(0.09412)	(0.09501)
	[-0.80292]	[-1.43806]
DLCER(-34)	0.006489	0.089937
	(0.09593)	(0.09684)
	[ 0.06765]	[ 0.92875]
<hr/>		
R-squared	0.054653	0.053015
Adj. R-squared	0.032145	0.030467
Sum sq. resids	0.370744	0.377803
S.E. equation	0.025110	0.025348
F-statistic	2.428131	2.351260
Log likelihood	1373.719	1368.033
Akaike AIC	-4.506531	-4.487672
Schwarz SC	-4.397031	-4.378172
Mean dependent	-0.000328	-0.000926
S.D. dependent	0.025524	0.025743
<hr/>		
Determinant resid covariance (dof adj.)		7.11E-08
Determinant resid covariance		6.76E-08
Log likelihood		3266.320
Akaike information criterion		-10.73406
Schwarz criterion		-10.51506
<hr/>		