

El cambio climático a nivel global y en Chile, los inventarios de gases de efecto invernadero y el mercado del carbono

Juan Pedro Searle Solar

1. INTRODUCCIÓN

Este capítulo describe la certeza científica actual sobre los impactos del cambio climático a nivel global y en Chile, reseña el marco legal internacional vigente para hacer frente a este fenómeno global, hace un resumen de los avances en Chile en esta materia, contextualiza el trabajo sobre inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero y su rol en el cumplimiento de compromisos de información tanto para países desarrollados como en desarrollo, y finaliza con una descripción de cómo opera y cuáles han sido las principales experiencias en el mercado del carbono. Previo a iniciar dicha descripción, es necesario mencionar las siguientes definiciones básicas ^A:

- Por «cambio climático» se entiende un cambio en el clima, atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial —mediante la emisión de los gases de efecto invernadero, sus precursores y los aerosoles— y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables.
- Por «efectos adversos del cambio climático» se entiende los cambios en el medio ambiente físico o en la biota resultantes del cambio climático que tienen efectos nocivos significativos en la compo-

^A Definiciones adaptadas de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC ó UNFCCC, su sigla en inglés)

sición, la capacidad de recuperación o la productividad de los ecosistemas naturales o sujetos a ordenación, o en el funcionamiento de los sistemas socioeconómicos, o en la salud y el bienestar humanos.

- Por «gases de efecto invernadero» se entiende aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben la luz solar y reemiten radiación infrarroja.
- Por «sumidero» se entiende cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe un gas de efecto invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de efecto invernadero de la atmósfera.
- Por «fuente» se entiende cualquier proceso o actividad que libera un gas de invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de invernadero en la atmósfera.
- Por “efecto invernadero” (**Figura 1.1.**) se entiende un efecto de calentamiento de la superficie terrestre y de la baja atmósfera, que se produce porque partículas gaseosas que han existido desde hace millones de años (vapor de agua, dióxido de carbono metano, óxido nitroso y ozono), atrapan parte del calor producido por la energía solar que incide sobre la superficie terrestre, principalmente en forma de luz visible.

Parte de esta energía se absorbe y otra se disipa como energía infrarroja. Este calor es transmitido lentamente por las corrientes de aire, y su liberación en el espacio se ve frenada por dichas partículas gaseosas, las que mantienen el planeta unos 30°C más caliente que si no existieran, permitiendo la coexistencia de diversas formas de vida.

El problema es el aumento de las concentraciones de estas partículas en la atmósfera terrestre, producto de las actividades humanas, lo que ha generado un aumento no deseado de la temperatura, conocido como *efecto invernadero aumentado*, y que lleva a la alteración de la composición gaseosa de nuestra atmósfera.



Figura 1.1. Esquema del efecto invernadero de la atmósfera terrestre

1.1. ¿Cuáles son estas partículas gaseosas?

Las partículas gaseosas, a las que se hace referencia, son:

- *gases (naturales) de efecto invernadero*: vapor de agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) y ozono (O_3),
- *gases de efecto invernadero introducidos por el hombre*: por ejemplo, las sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO, según el léxico del Protocolo de Montreal), entre las que se encuentran los clorofluorocarbonos (CFCs), utilizados comúnmente como refrigerantes, que han sido gradualmente reemplazados por otras sustancias menos nocivas para la capa de ozono (por ejemplo, los hidroclofluorocarbonos, HCFCs) pero que poseen un potencial de calentamiento global mucho mayor que el del CO_2 . Cabe desta-

car entre estas sustancias a los perfluorocarbonos (PFCs), al hexafluoruro de azufre (HF_6) y a los hidrofluorocarbonos (HFCs), que son gases controlados por el protocolo de Kyoto, y que comenzaron a consumirse mayoritariamente a partir del año 1995,

- *gases precursores de ozono*: compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM), monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos, y
- *aerosoles*: anhídrido sulfuroso (SO_2) ^A.

1.2. ¿Qué actividades humanas generan GEI, aerosoles y precursores de ozono?

Entre las principales actividades humanas que generan gases de efecto invernadero y precursores de ozono, destaca largamente, como la principal fuente emisora, la quema de combustibles fósiles, tanto para generación y uso de energía, como en la industria y en el transporte; otras fuentes importantes son los cambios en el uso del suelo y la actividad forestal, la agricultura y la gestión de desechos sólidos y líquidos.

2. SUSTENTO CIENTÍFICO AL PROBLEMA

El sustento científico para entender y abordar el cambio climático antropogénico lo provee el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (PICC, más conocido por su sigla en inglés IPCC ^B), especialmente creado a fines de los 80's por las Naciones Unidas para evaluar cada 5 o 6 años y sobre una base objetiva, transparente y amplia, toda aquella información relevante y disponible acerca de la ciencia del cambio climático y las medidas de respuesta. Este panel de expertos, integrado por más de 2.500 científicos de todo el mundo —entre los cuáles hay participación de científicos chilenos— proporciona la base de información requerida por la Conferencia de las Partes de la Convención de Cambio Climático y la Reunión de las Partes del Protocolo de Kyoto, cada vez que estos instrumentos necesitan fundamentar alguna decisión desde una perspectiva científica o técnica.

^A Este último tiene un efecto de enfriamiento, pero su permanencia en la atmósfera es muy corta, comparada con los gases de efecto invernadero

^B Intergovernmental Panel on Climate Change

El PICC publica periódicamente distintos documentos relativos a cambio climático, entre ellos, la metodología para el desarrollo de los inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero y sus actualizaciones. Pero, sin duda, su más esperada publicación es el Informe de Evaluación ^A del estado del conocimiento científico y técnico en la materia. A la fecha, se han publicado cuatro. El primero (1990) constató que las emisiones de gases de efecto invernadero estaban en aumento, sin causalidad definida; el segundo (1995) ya evidenció una “interferencia humana discernible en el sistema climático”, y el tercero (2001) fue más concluyente aún en la culpabilidad del hombre.

El cuarto informe (2007) explica, de manera abrumadora, los efectos que el mundo ya está experimentando en materia de cambios climáticos ante un calentamiento evidenciado de 0,5°C y predice los posibles escenarios futuros si la inyección de gases de efecto invernadero en la atmósfera continúa de manera explosiva y los países no hacen nada al respecto. Aquí, el PICC asevera, con una certeza de más del 90%, que el hombre es el causante del aumento constatado de emisiones de gases de efecto invernadero y que ello ha tenido una incidencia directa en los cambios observados en muchos sistemas físicos y biológicos, desde comienzos de los 70's.

En dicho informe, el Panel ha sido claro al señalar que si las emisiones de gases no comienzan a reducirse de manera real a partir del año 2015, será poco probable estabilizar su concentración en nuestra atmósfera en un nivel que no implique aumentos de temperatura mayores a los 2°C, que es el escenario menos pesimista que la comunidad internacional está pensando en alcanzar hacia fines de siglo, y que implica estabilizar la concentración de emisiones de gases invernadero en la atmósfera entre 450 a 700 partes por millón (miligramos/litro).

En función de la permanencia en la atmósfera —décadas o siglos— de los gases emitidos hasta ahora, este último informe urge sobre la adopción de medidas de adaptación en el corto plazo, asociadas a una agen-

^A *Los Informes de Evaluación constan de varios volúmenes, y proporcionan todo tipo de información científica, técnica y socioeconómica sobre el cambio climático, sus causas, sus posibles efectos, y las medidas de respuesta correspondientes. Accesibles a través de <http://www.ipcc.ch>*

da estricta de mitigación de las emisiones, sin esperar a reducir las incertidumbres que aún persisten en algunas áreas.

2.1. ¿Cómo será este aumento de temperatura y qué tipo de amenazas se esperan hacia fin de siglo?

Según el 4º Informe de Evaluación del PICC, las temperaturas promedio podrían aumentar hasta en 6,4°C hacia fin de siglo si las emisiones siguen subiendo, siendo un aumento de 4°C lo más probable. El pronóstico es más preciso que estimaciones anteriores del PICC, debido a que se descubrió que la tierra y los océanos del planeta están perdiendo su capacidad de absorber el dióxido de carbono. Un aumento global promedio en la temperatura de 4°C eliminaría cientos de especies, acarrearía extrema escasez de alimentos y aguas en países vulnerables y causaría inundaciones catastróficas que desplazarían a cientos de millones de personas. El calentamiento sería mucho más severo en dirección a los polos, lo que aceleraría el derretimiento de las capas de hielo de Groenlandia y la Antártica occidental.

El informe dice que la actividad humana es responsable de la mayor parte del calentamiento observado en las décadas recientes, con un 90% de certeza en esta afirmación. El informe anterior del PICC (2001), afirmaba que no emprender acciones podría llevar al calentamiento global hasta 5,8°C más en el año 2100. Los pronósticos de este nuevo informe muestran un cuadro más sombrío, porque los científicos han descubierto retroalimentaciones en el ciclo global del carbono que están agregándose a la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera. Estimaciones iniciales señalan que esto podría bastar para aumentar las temperaturas en otro grado Celsius hacia 2100.

Un alza superior o igual a 4°C durante este siglo, haría que el mundo se calentara casi tanto como lo que se calentó durante los 150 siglos transcurridos desde el fin de la última era glacial, pero sólo en 100 años. El PICC enfatizó en que un desenlace como ése no es inevitable. Un giro significativo hacia tecnologías limpias y eficientes podría disminuir a la mitad las alzas esperadas de temperatura. Pero incluso su escenario más optimista contemplaría, hacia 2100, un probable aumento en la temperatura de 2,4°C por sobre los niveles preindustriales.

2.2. ¿Qué significarían estos cambios esperados para América Latina y para Chile?

Para Latinoamérica, el PICC en su cuarto informe, indica que a mediados del siglo 21, los aumentos en la temperatura y las disminuciones en agua de los suelos llevará a un reemplazo gradual del bosque tropical por sabana en la Amazonía; habrá una pérdida importante de biodiversidad por extinción de especies, y en zonas más áridas (por ejemplo, Chile), se espera que el cambio climático lleve a un aumento de la salinización y desertificación de tierras agrícolas, con la consecuente baja en la productividad de algunos cultivos y sistemas, que afectará la seguridad alimentaria.

También se proyecta que aumentos en el nivel del mar provocarán inundaciones en zonas bajas, y que aumentos en la temperatura superficial del mar afectarán a los corales y otras especies. Mención especial se hace a los cambios en precipitación y a la desaparición de glaciares en la región, que afectará, entre otros, a la agricultura, consumo humano y energía.

Muchas de las consecuencias previstas serían desastrosas, en particular, para aquellos países considerados más vulnerables. Y Chile podría ser uno de estos pues, aparte de ser citado en el 4º Informe del IPCC como un país impactado por cambio climático (**Cuadro 1.1.**), posee las siguientes características de vulnerabilidad establecidas internacionalmente: zonas costeras bajas, zonas áridas y semiáridas, zonas expuestas a la sequía y a la desertificación, zonas expuestas al deterioro forestal y zonas de alta contaminación atmosférica urbana.

Para Chile, un estudio nacional hecho para CONAMA por el Centro AGRIMED ^A de la Universidad de Chile (2000), mostró que nuestro país podría verse muy afectado por disponibilidad del recurso hídrico, en particular, en la zona central que es eminentemente agrícola. Otros efectos esperados son la intensificación de aridez y avance del desierto hacia el sur, mayores precipitaciones en la zona sur, y fenómenos del Niño más frecuentes e intensos. El estudio proyectó al 2040 los cambios en precipitación y temperatura — incluidas las variaciones en

^A *Centro de Agricultura y Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Chile*

Cuadro I.I. Impactos para Chile, según el 4º Informe del IPCC

| Cambios Observados | Cambios Esperados |
|--|--|
| <p>Cambios en patrones de precipitación: tendencia a la declinación en la precipitación en el sur, en los últimos años.</p> <p>Glaciares: disminución dramática de su volumen en décadas pasadas, siendo el sur una de las zonas más afectadas.</p> <p>Salud humana: se han informado aumentos en brotes de virus hanta después de sequías prolongadas.</p> | <p>Recursos hídricos: se espera un alto impacto en disponibilidad energética y restricciones a la disponibilidad hídrica en zona central, por anomalías asociadas a El Niño/La Niña.</p> <p>Salinización y desertificación: en el norte, el cambio climático puede llevar a la salinización y desertificación de tierras agrícolas.</p> <p>Cambios en nivel del mar: modificarían ubicación de stocks pesqueros.</p> <p>Agricultura: estudios proyectan disminuciones futuras en las cosechas para un número importante de cultivos.</p> <p>Incendios forestales: aumentos en riesgo de ocurrencia debido a cambio climático.</p> |

parámetros climáticos secundarios— a consecuencia del cambio climático, y de cómo esas modificaciones afectarían a la agricultura, a los tipos forestales y a la escorrentía superficial promedio anual.

El análisis se efectuó por regiones, y a nivel comunal, utilizando para ello un modelo de circulación general, acoplándolo con un modelo propio de impactos ^A. Para el horizonte elegido, entre otros impactos, se estimaron reducciones en la *temperatura* bajo los 2°C en la zona norte (hasta la Cuarta Región), y aumentos cercanos a 3°C en la zona central y la región austral, lo que podría modificar variables cruciales para la agricultura, tales como heladas, horas de frío y ocurrencia de días cálidos. En algunas áreas del país, se predijeron cambios superiores al 30% en la *precipitación anual*. Entre ellas, la zona central mostró

^A Estudio “Análisis de Vulnerabilidad y Adaptación en agricultura, recursos hídricos y silvicultura, como parte del proyecto GEF Capacitación de Chile para cumplir sus compromisos con la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”, Centro AGRIMED, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile, 2000.

una reducción importante de este parámetro, en oposición a lo esperado en el altiplano, donde se incrementarían las precipitaciones, pero disminuirían alrededor de 20-25% de variación negativa desde Antofagasta a Puerto Montt.

Con las variaciones esperadas para ambos parámetros, y la consiguiente influencia sobre los recursos hídricos, se determinaron efectos en praderas naturales, cultivos de secano y otros; en fruticultura de clima templado y templado árido, y en tipos forestales. Además, se establecieron impactos debido a plagas y enfermedades. Un detalle de estos impactos se encuentra en el Anexo de este capítulo.

En relación a zonas costeras y recursos pesqueros, se evaluó los efectos derivados de incrementos en el nivel del mar en áreas costeras que concentran población y actividades pesqueras importantes, y sobre recursos pesqueros de importancia económica para el país ^A. En el área del Golfo de Arauco (VIII Región), se concluyó que los asentamientos humanos correspondientes a pescadores artesanales y a ciudades o centros poblados en áreas cercanas al mar, presentaron vulnerabilidad a un incremento de un grado en el nivel del mar.

Asimismo, se predijeron cambios en la distribución y abundancia de la anchoveta, con bajas importantes en la zona norte del país, y un aumento de su biomasa en el sector litoral de las regiones VIII y X. Para la sardina común, disminuiría significativamente la distribución de su biomasa en el norte, especialmente en la zona de Coquimbo, menos en el litoral de la Región del Bío-Bío, con un aumento de la media histórica de los desembarques hacia el sur. La merluza sería la menos afectada, pues no se esperan modificaciones importantes en su distribución y disponibilidad, excepto cambios leves en el norte.

Otro estudio más reciente (2007), hecho por el Depto. de Geofísica de la U. de Chile, para analizar la variabilidad climática en Chile en el

^A *Estudio sobre vulnerabilidad y adaptación en zonas costeras y recursos pesqueros, como parte del proyecto GEF Capacitación de Chile para cumplir sus compromisos con la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, Centro EULA, U. de Concepción. Debido a la falta de información disponible para las áreas costeras de Arica, Valdivia y Puerto Montt, se pudo sólo evaluar impactos en el Golfo de Arauco.

siglo 21 (accesible a través de www.conama.cl), muestra para las variables de temperatura y precipitación, y frente a dos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero, que pueden haber aumentos de temperaturas de 1° a 3°C (escenario moderado), y entre 2° a 4°C (escenario severo); indica que en todo el país se aprecian aumentos de temperatura en ambos escenarios, y que la mayor variación de temperatura se estima en el norte grande y norte chico, y mayormente en la zona andina. En cuanto a la precipitación, el estudio indica para las siguientes macrorregiones:

- **Norte Grande:** en el sector altiplánico, se estima un aumento de precipitaciones durante primavera y verano.
- **Norte Chico:** se estima un aumento pluviométrico durante el invierno.
- **Chile Central:** los resultados indican disminución de precipitaciones particularmente en latitudes medias (V a VIII regiones), y en las estaciones de verano y otoño.
- **Región Sur (VIII a X regiones):** arroja disminución de precipitaciones de hasta un 50% en verano, manteniéndose prácticamente inalterada la situación en invierno.
- **Región Austral:** presenta una disminución de la precipitación de un 25% aprox., en verano, normalizándose hacia el invierno. En el extremo austral se aprecia un leve aumento de las precipitaciones (de hasta un 20%), que prevalece todo el año.

3. RELEVANCIA PARA CHILE

La relevancia de la problemática del cambio climático debiese ser analizada en Chile, al menos, teniendo en consideración los aspectos siguientes:

- A. Chile es un país social, económica y ambientalmente vulnerable al cambio climático; cumple con la tipificación de vulnerabilidad contemplada en el artículo 4.8 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, al poseer zonas costeras bajas;

zonas áridas y semiáridas; áreas susceptibles a la deforestación o erosión, a los desastres naturales, a la sequía y la desertificación; áreas urbanas altamente contaminadas, y ecosistemas frágiles. Por ello, gran parte de las consecuencias previstas por el PICC podrían ocurrir o estar ya sucediendo en el país.

El estudio de AGRIMED (2000) es el único estudio disponible hasta ahora en el país, que evaluó la vulnerabilidad al cambio climático a nivel de sectores (praderas naturales, recursos forestales, cultivos como papa, fréjol, maíz, fruticultura, tipos forestales), además de la incidencia de plagas y enfermedades como resultado de una mayor temperatura superficial de la atmósfera.

No obstante esta primera aproximación a los eventuales impactos en el país, dicho estudio no consideró la cuantificación de los impactos económicos asociados a los cambios esperados de precipitación y temperatura. Por ello, un desafío en este ámbito es la profundización del análisis de vulnerabilidad nacional, incorporando otros sectores productivos y de servicios (por ejemplo, energía, asentamientos humanos, etc.); y otros enfoques diferentes (por ejemplo, impactos sobre la biodiversidad, infraestructura, etc.). Acto seguido, debiesen plantearse las medidas de adaptación correspondientes, incluido un análisis de los costos de tales medidas.

En razón de lo anterior, y mediante un convenio firmado entre la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), la Fundación para la Innovación Agraria (FIA) y la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) del Ministerio de Agricultura ^A, a partir de 2007 se están actualizando los escenarios de la primera Comunicación Nacional sobre impactos del cambio climático en el sector silvoagropecuario y en los recursos hídricos, a los cuáles se agregó también el componente de suelos. Se espera contar con dicha información durante el último trimestre de 2008. Cabe señalar que la construcción de los nuevos escenarios indicados se ha basado en los escenarios climáticos desarrollados por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile.

^A Acción enmarcada en el Plan de Acción Nacional de Cambio Climático

Asimismo, bajo dicho convenio, finalizó un estudio licitado por FIA, que evaluó políticas, programas y proyectos de adaptación a nivel mundial, a objeto de evaluar aquellas medidas de adaptación al cambio climático que se pudieran desarrollar o potenciar en Chile, en función de instrumentos ya existentes aplicados a los mismos sectores señalados en el párrafo precedente.

- B. El Estado, a la fecha, **no conoce a ciencia cierta los costos económicos de los impactos esperados del cambio climático** para el territorio nacional. Los estudios de vulnerabilidad indicados en el punto 1 precedente no contemplaron una evaluación económica de los impactos planteados. Por ejemplo, un análisis de las pérdidas económicas por incidencia de plagas y enfermedades en determinados rubros agrícolas; o bien, por baja en productividad agrícola por reducción del recurso hídrico, etc. Según el PICC, se esperan mayores efectos del cambio climático en los países en desarrollo en términos de impactos en inversión y en economía y en pérdidas de vidas humanas, que en los países desarrollados. Como ejemplo, el panel indica que el porcentaje de daños al PIB debido a eventos extremos del clima ha sido sustancialmente mayor en los países en desarrollo. Y como el cambio climático exacerba tales eventos extremos, los costos de los impactos de este fenómeno podrían también elevar los ya altísimos costos experimentados por variabilidad natural del clima.

Chile no posee información al respecto, y se estima relevante poder desarrollarla, a objeto de planificar una toma de decisión informada. Los costos de la inacción pueden ser mucho mayores que las medidas e inversiones necesarias —en el corto plazo— para adaptarse y mitigar los impactos negativos del cambio climático. El Estado de Chile, en quien recaerá la mayor carga de inversión —sobre todo en el desarrollo de infraestructura— debe destinar los recursos necesarios para evaluar tales costos y determinar las acciones a seguir, en particular, en aquellos sectores que se consideren prioritarios.

Un avance en tal sentido lo constituye otra acción efectuada en el marco del Convenio CONAMA-FIA-ODEPA, que es la cuantificación de los impactos económicos derivados de los escenarios esperados en el sector silvoagropecuario, los recursos hídricos y suelos, cuyos

resultados estarán disponibles a fines de 2008. Asimismo, los resultados de una licitación de FIA para desarrollar proyectos concretos de adaptación, lanzada en agosto de 2008, será clave para la materialización de medidas adaptativas en el sector antes indicado.

- C. Chile es parte ratificadora de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático y de su Protocolo de Kyoto. Como tal, **tiene responsabilidad en el cumplimiento de las obligaciones adquiridas**. No posee compromisos de reducción de emisiones, pero sí debe elaborar periódicamente su Comunicación Nacional, que corresponde a un informe-país que contiene información sobre inventario de emisiones de gases de efecto invernadero; vulnerabilidad al cambio climático; opciones de adaptación a él, y opciones de mitigación de las emisiones. Este compromiso cualitativo podría cambiar conforme avancen las negociaciones para una implementación más restrictiva para todas las partes de la Convención.

4. LEGALIDAD INTERNACIONAL VIGENTE

Frente a este fenómeno en aumento y que puede tener consecuencias dramáticas para las generaciones presentes y futuras ^A, existen dos instrumentos legales internacionales vigentes que se elaboraron con la finalidad de reducir dichas emisiones y de minimizar las consecuencias negativas pronosticadas. Estos instrumentos son la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto.

4.1. Convención de Cambio Climático

En vigor desde marzo de 1994, estableció una serie de compromisos diferenciados para países desarrollados y en desarrollo, entre los cuales destacan i) la obligación de los primeros de reducir, en el año 2000, sus emisiones de GEI a los niveles de emisión que cada uno de ellos

^A Chile, por su diversidad de ecosistemas y por sus características geográficas muy particulares, entre las que sobresalen un alto porcentaje de zonas propensas a la desertificación y la sequía, y su longitud de línea costera, puede resultar muy afectado por los impactos del cambio climático

generó en 1990, ii) que todos los costos en que incurran los países en desarrollo para implementar sus compromisos serán a cuenta de financiamiento entregado por las partes desarrolladas, y iii) que los países en desarrollo no se obligan a reducir sus emisiones bajo este Convenio y sólo deben elaborar un informe país que detalle sus esfuerzos por implementar dicha Convención. La Convención no incluyó un sistema de sanciones por no cumplimiento.

4.2. Protocolo de Kyoto

En vigor desde febrero de 2005, comenzó a elaborarse en 1995 debido a que la meta de reducción de emisiones de la Convención no iba a ser cumplida por el mundo industrializado en la fecha convenida (2000). Este nuevo instrumento, que forma parte integral de la Convención, contiene nuevas obligaciones de reducción para los países incluidos en el Anexo I ^A, sin plantear obligaciones para los países no-Anexo I ^B, y a diferencia de la Convención, establece un porcentaje de reducción algo mayor con respecto a 1990 (5,2% por país), define un período de cumplimiento de cinco años (2008-2012), establece un sistema de sanciones por no cumplimiento, hace prevalecer las acciones domésticas para reducir los GEI, y define mecanismos económicos suplementarios en sus artículos 6 (Implementación Conjunta), 12 (Mecanismo de Desarrollo Limpio), y 17 (Transacción de Emisiones), a objeto de facilitar los costos económicos de esta reducción obligatoria para los países desarrollados.

Concretamente, la *implementación conjunta* es un mecanismo basado en proyectos y permitido sólo entre partes desarrolladas, que genera unidades de reducción de emisiones (ERUs, en inglés), transables a partir del año 2008. El *mecanismo de desarrollo limpio* también es un mecanismo basado en proyectos de reducción y captura, pero no está restringido a partes desarrolladas, ya que permite la participación de los países en desarrollo en la ejecución de proyectos y genera reducciones certificadas de emisiones (CERs, en inglés), transables retroactivamente a contar del 1 de enero de 1990. La *transacción de emisiones* está restringida

^A Países desarrollados y de economías en transición (EET)

^B Países en desarrollo

a las partes desarrolladas y permite la compra y venta de los excesos de permisos de emisión (AAUs), en aquellos sistemas de transacción en que las partes tienen límites de reducción establecidos. Los tres mecanismos mencionados deben generar reducciones reales de GEI. Adicionalmente, actividades pertenecientes al sector “Uso de los Suelos, Cambio de Uso de los Suelos y Forestal (LULUCF, en inglés), permiten expandir las emisiones asignadas por el Protocolo de Kyoto, a través de la asignación de Unidades de Remoción (RMU, en inglés).

Acuerdo de Marrakech. Luego de la adopción del texto del Protocolo en 1997 en la ciudad de Kyoto, Japón, comenzó un exhaustivo proceso de negociación internacional —en la que también Chile participó— para definir las reglas y modalidades de aplicación de cada uno de sus artículos, que culminó con el llamado Acuerdo de Marrakech (2001). Entre otros aspectos, este definió las reglas para los tres instrumentos económicos anteriores, junto con especificar también aquellos aspectos pendientes relativos a la Convención de Cambio Climático.

Se entregará mayor información referente al Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), debido a que es a través de dicho instrumento que Chile puede obtener importantes beneficios ambientales, económicos y tecnológicos, mediante la venta de CERs a terceros.

5. MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO

El Acuerdo de Marrakech define en detalle los aspectos administrativos y operacionales del MDL. Para ello, establece que el MDL es supervisado por una Junta Ejecutiva y que los créditos obtenidos por proyectos MDL (CERs), serán verificados y certificados externamente a través de las llamadas entidades operacionales designadas (DOE), que en esencia son organizaciones que serán designadas por las partes del Protocolo, a través de su Junta Ejecutiva.

Los proyectos MDL deben cumplir con el llamado requisito de adicionalidad. Para ello, el artículo 12 especifica que los CERs pueden ser emitidos por un proyecto siempre y cuando las reducciones calculadas de emisiones de GEI que este generará, sean adicionales a cual-

quier reducción que se hubiese producido en ausencia de la actividad de proyecto MDL. Asimismo, las reglas establecen que los proyectos deben cumplir ciertos criterios a fin de calificar para una actividad certificada como «MDL». Estos requisitos incluyen el cumplimiento de los criterios de presentación y desarrollo del proyecto, el proceso de registro y validación del proyecto, los requisitos de monitoreo, verificación y certificación de las reducciones, y las reglas que gobiernan la emisión de certificados.

Un paso importante que debe producirse al inicio del ciclo de proyectos, es la obtención de la carta de aprobación de la actividad MDL, expedida por la Autoridad Nacional Designada ^A (AND) de cada parte involucrada (país), que participa en dicha actividad. Sin esta carta, no se puede efectuar el registro del proyecto por parte de la Junta Ejecutiva del MDL.

El documento de diseño del proyecto (PDD en inglés) aprobado en Marrakech, solicita al proponente de un proyecto MDL que considere los siguientes tópicos para la elaboración de su proyecto:

- Identificación de los participantes en el proyecto y otras partes interesadas.
- Tecnologías utilizadas en el proyecto.
- Metodologías de línea de base, de validación y de verificación.
- Ubicación del proyecto y carta de aprobación de la AND.
- Propiedad de los CERs.
- Adicionalidad.
- Beneficios adicionales resultantes de la actividad de proyecto (i.e., ambientales, desarrollo comunitario, etc).
- Plan de Monitoreo y Verificación.

5.1. Implementación del MDL

Antes de la entrada en vigor del Protocolo, a mediados de 2003, la Junta Ejecutiva (JE) comenzó un proceso interino de ejecución de sus

^A Para el caso de Chile, la Comisión Nacional del Medio Ambiente, que representa a la AND, es la instancia que emite la carta de aprobación, a solicitud del proponente

labores, que incluyó la determinación de un panel de expertos para aprobación de metodologías de línea de base y la acreditación de entidades operacionales que participarán en los procesos de validación, registro y certificación de los proyectos MDL ^A.

El sistema opera de tal forma que un proponente de proyecto presenta su proyecto MDL, acompañado de la carta de la AND y de una metodología de línea de base, a la JE. Si la metodología es nueva, esta es revisada por un panel ad-hoc que verifica la veracidad de los cálculos y estimaciones presentadas por el proponente. Si es aprobada, la metodología se publica en la página web del MDL, y queda a disposición de cualquier otro proponente que desee efectuar un proyecto similar. El proyecto también se aprueba automáticamente ^B.

5.2. Proyectos registrados y metodologías aprobadas

Al 25 de agosto de 2008, con el Protocolo de Kyoto en plena vigencia, la Junta Ejecutiva del MDL había aprobado 137 metodologías para proyectos de mayor y menor escala que cubren áreas como energías renovables, eficiencia energética, cambio de combustibles, forestación y manejo de desechos domiciliarios e industriales, incluida la captura de metano, que significan 1149 proyectos registrados por la Junta Ejecutiva a igual fecha, y un total de 183.204.914 certificados de reducción de emisiones (CER) emitidos.

El **Cuadro 1.2.** muestra el detalle por país del número de proyectos presentados en dicha fecha, y las **figuras 1.2., 1.3. y 1.4.** indican los proyectos registrados por país Anfitrión; por campo de aplicación y por región, respectivamente, las que muestran la información en porcentajes de participación. Estadísticamente, por país, Chile poseía el 2.18% de los proyectos presentados al 25 de agosto de 2008, con un total de 2,868,874 CERs emitidos, y 25 proyectos registrados, lo que equivale al 1.57% del total de CERs a la fecha.

^A A junio de 2007, existían 17 entidades operacionales designadas (DOE)

^B La empresa chilena Agrosúper presentó una metodología para el tratamiento de purines de la industria de cerdos, que fue aprobada y publicada por la JE, y posteriormente sometida a revisión y modificación

Cuadro I.2. Número de proyectos registrados por país,
al 25 de agosto de 2008

| País | Nº de Proyectos | País | Nº de Proyectos |
|----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
| Argentina | 14 | República Democrática | |
| Armenia | 4 | de la Gente de Lao | 1 |
| Bangladesh | 2 | Malasia | 31 |
| Bután | 1 | México | 106 |
| Bolivia | 2 | Mongolia | 3 |
| Brasil | 144 | Marruecos | 4 |
| Camboya | 1 | Nepal | 2 |
| Chile | 25 | Nicaragua | 3 |
| China | 258 | Nigeria | 1 |
| Colombia | 10 | Paquistán | 1 |
| Costa Rica | 6 | Panamá | 5 |
| Cuba | 1 | Papua Nueva Guinea | 1 |
| Chipre | 2 | Perú | 12 |
| República Dominicana | 1 | Filipinas | 19 |
| Ecuador | 12 | Qatar | 1 |
| Egipto | 4 | República de Corea | 19 |
| El Salvador | 5 | República de Moldavia | 3 |
| Fiji | 1 | Sudáfrica | 14 |
| Georgia | 1 | Sri Lanka | 4 |
| Guatemala | 6 | Tailandia | 10 |
| Guyana | 1 | Túnez | 2 |
| Honduras | 14 | Uganda | 1 |
| India | 356 | República Unida | |
| Indonesia | 16 | de Tanzania | 1 |
| Israel | 12 | Uruguay | 3 |
| Jamaica | 1 | Viet Nam | 2 |

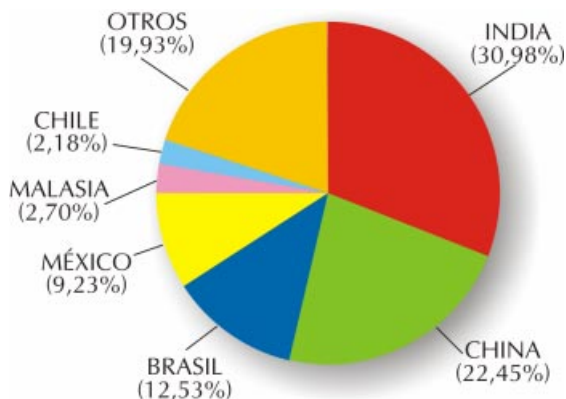


Figura 1.2. Proyectos registrados por país anfitrión, al 25/08/2008.

Total: 1.149

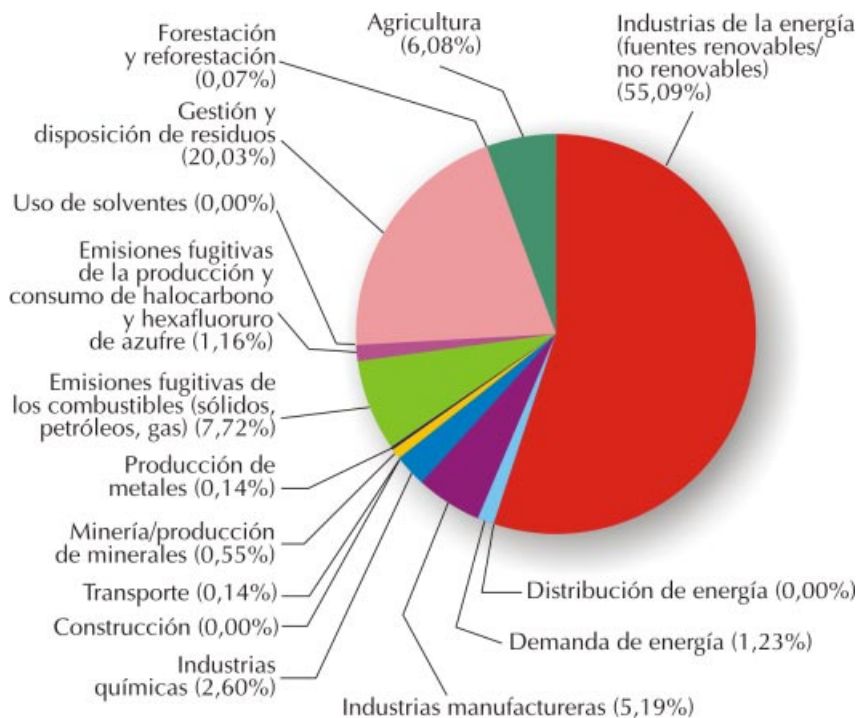


Figura 1.3. Proyectos registrados por ámbito de acción, al 25/08/2008

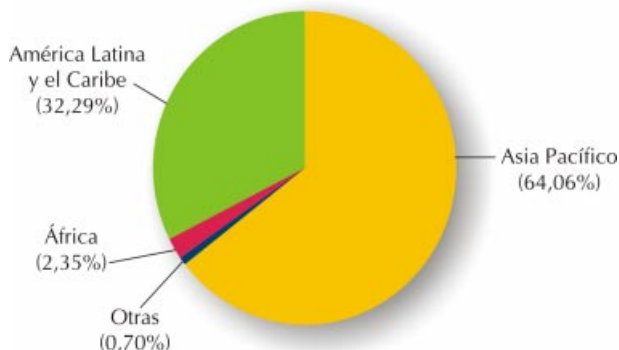


Figura 1.4. Proyectos registrados por región, al 25/08/2008

La información sobre proyectos registrados y en validación es cambiante día a día, debido a que la experiencia en proponer PDD de proyectos MDL y la necesidad de comprar certificados de carbono va en franco aumento. Cabe destacar que en la medida que un proyecto MDL recibe la validación y registro conforme a las reglas establecidas por el Protocolo de Kyoto, existirá una mayor probabilidad que dicho proyecto genere interés de un comprador, sea este una empresa o un gobierno de un país industrializado.

6. AVANCES EN CHILE EN MATERIA DE CAMBIO CLIMÁTICO

Desde 1994, Chile ha efectuado avances importantes para materializar sus obligaciones internacionales en materias de cambio climático. Entre ellos destacan:

- i) La ratificación de la Convención sobre Cambio Climático en Diciembre de 1994, y el Protocolo de Kyoto en agosto de 2002, oficializándolos como Leyes de la República, lo que le ha dado el marco legal para efectuar acciones.
- ii) La creación del Comité Nacional Asesor Sobre Cambio Global (CNACG) en 1996, que actúa como la institucionalidad nacional

para abordar la temática en Chile. Este Comité se reúne trimestralmente a discutir y proponer acciones en temáticas que abarcan desde el desarrollo de proyectos relativos al cambio climático, la elaboración de líneas de acción programáticas en la materia y la formulación de posturas nacionales frente a temas diversos como la adaptación, la mitigación, el mecanismo de desarrollo limpio y el mecanismo financiero de la Convención, entre otros.

iii) El desarrollo de los *Lineamientos Estratégicos en Materia de Cambio Climático* por el CNACG, que fueron aprobados en diciembre de 1998 por el Consejo Directivo de CONAMA. Estos lineamientos se refieren a la reafirmación de los compromisos establecidos en la CMCC, la promoción de la ratificación del Protocolo de Kyoto, la participación de sectores relevantes y expertos chilenos en la discusión de los mecanismos económicos establecidos en el Protocolo de Kyoto, la utilización del mecanismo de desarrollo limpio (MDL), el diseño de orientaciones básicas respecto de nuevas formas de limitación y/o reducción de emisiones de gases de efecto invernadero para los países en desarrollo; la generación y aplicación de un Plan de Acción Nacional en Cambio Climático, y la creación de un fondo especial para la investigación técnica y científica y la capacitación en cambio climático en Chile. Estos lineamientos han servido de base para orientar las acciones del Estado y del sector privado en materias de cambio climático, hasta la fecha de preparación de la Estrategia Nacional de Cambio Climático, y de su Plan de Acción de Cambio Climático..

iv) La entrega de la Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático (1CN) a la Secretaría de la Convención de Cambio Climático en febrero de 2000, cuyos contenidos fueron aprobados por el CNACG, y su coordinación, a cargo de CONAMA. Este documento incluyó un inventario nacional de gases de efecto invernadero para el periodo 1993-1994, escenarios de vulnerabilidad para un horizonte de 40 años en recursos hídricos, agricultura y bosques, con algunas medidas de adaptación propuestas, además de escenarios de mitigación al 2020 en sectores de industrias de la energía, manufactura y construcción, sector comercial/público y residencial, transporte y silvicultura, con medidas de mitigación y estimación

de costos para silvicultura. Este documento permitió a Chile cumplir con sus compromisos frente a la Convención y crear capacidades a nivel nacional en las materias abordadas por el informe.

- v) La elaboración de la Segunda Comunicación Nacional (2CN) a partir del año 2007, cuya coordinación está también a cargo de CONAMA. En un plazo de tres años (2007-2010), la 2CN generará información relevante para la consecución de las acciones de corto plazo del Plan de Acción. Entre otros, proveerá información actualizada sobre la evolución de emisiones de GEI; desarrollará programas que contengan medidas para mitigar el cambio climático y para identificar vulnerabilidades y facilitar una adaptación adecuada del país al cambio climático. También desarrollará otra información relevante relacionada con la integración de consideraciones a la agenda de política pública, la transferencia tecnológica, la investigación y observación sistemática, y la educación.
- vi) La promoción del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) del Protocolo de Kyoto y el establecimiento de la Autoridad Nacional Designada (AND) del MDL en 2003, cuya coordinación y representación está a cargo de CONAMA. Se creó luego un portafolio de proyectos MDL —que a julio de 2008 alcanzaba los 41 proyectos— el que ha sido promovido internacionalmente, además de la firma de acuerdos de cooperación con países industrializados en materias relativas al MDL. De éstos, 25 proyectos estaban registrados ante la Junta Ejecutiva al 25/08/08. (A modo de ejemplo, el **Cuadro 1.3.** muestra los tipos de proyectos que se han estado aprobando en el país).
- vii) El fomento a la cooperación internacional, con la cual se han materializado prácticamente todos los avances antes señalados. Esta continúa su curso, con acciones entre las que se incluye la preparación de 2ª Comunicación Nacional.
- viii) El desarrollo de otros estudios en cambio climático como apoyo a la toma de decisión. Aprovechando la creación de capacidades mediante la Primera Comunicación Nacional, Chile ha estado actualizando los inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero para los sectores de energía y no-energía, en base a las guías revisa-

Cuadro 1.3. Proyectos aprobados por la AND (al 04-05-07)

| PROYECTO | TIPOLOGÍA | TITULAR |
|-----------------------------------|---|-----------------------------------|
| 1 Comeche-Los Guindos | Captura de metano | Agrícola Súper Ltda. |
| 2 Peralillo | | |
| 3 Pocillas-La Estrella | | |
| 4 Chacabuquito | Hidroeléctrica de pasada | Hidroeléctrica Guardia Vieja |
| 5 Graneros | Cambio de combustible | Nestlé |
| 6 Metrogas | Co-generación | Metrogas |
| 7 Millalemu | Reforestación | Forestal Millalemu |
| 8 Hornito | Hidroeléctrica de pasada | Hidroeléctrica Guardia Vieja |
| 9 Trupan 2 | Biomasa | Celulosa Arauco y Constitución SA |
| 10 Valdivia | | |
| 11 La Higuera | Hidroeléctrica de pasada | Hidroeléctrica La Higuera |
| 12 El Molle | Recuperación de metano en relleno sanitario | GIRSA S.A. |
| 13 Copiulemu | Recuperación de metano en relleno sanitario | Copiulemu S.A. |
| 14 Cosmito | Recuperación de metano en relleno sanitario | Copiulemu S.A. |
| 15 Quilleco | Hidroeléctrica | Colbún S.A. |
| 16 Nueva Aldea | Biomasa, co-generación | Celulosa Arauco y Constitución SA |
| 17 Russfin | Biomasa | Russfin |
| 18 Vertedero Zona Sur de Santiago | Recuperación de metano | Aconcagua SA |
| 19 Licán | Hidroeléctrica | Inversiones Candelaria |
| 20 Maitenlahue | Captura de metano | Agrícola Súper Ltda. |
| 21 Valdebenito | Captura de metano | Agrícola Súper Ltda. |
| 22 Ramirana | Captura de metano | Agrícola Súper Ltda. |
| 23 La Manga | Captura de metano | Agrícola Súper Ltda. |
| 24 Santa Marta | Captura de metano | Consorcio Sta. Marta |
| 25 Rucatayo | Hidroeléctrica | Hidroeléctrica del Sur |
| 26 Lajarilla | Captura de metano | Bionersis |
| 27 Ex vertedero Rancagua | Captura de metano | Bionersis |
| 28 Leña Dura | Captura de metano | Bionersis |
| 29 Viñita azul | Captura de metano | Bionersis |
| 30 Ojos de Agua | Hidroeléctrica | Eco Endesa |

Continuación Cuadro 1.3.

| PROYECTO | TIPOLOGÍA | TITULAR |
|------------------------|---|-------------------------------|
| 31 Loma Los Colorados | Captura de metano | KDM |
| 32 Forestal Concepción | Biomasa | Forestal Concepción |
| 33 Vertedero Coronel | Captura metano | Inversiones Biogás |
| 34 Puclaro | Hidroeléctrica | Hidroeléctrica Puclaro S.A. |
| 35 Chiburgo | Hidroeléctrica | Colbún S.A. |
| 36 Lircay | Hidroeléctrica | Hidroeléctrica del Maule S.A. |
| 37 Enaex | Eliminación de óxido nitroso (N ₂ O) | Enaex |
| 38 Mikro-Tec | Pequeña escala forestación/reforestación | Mikro-Tec |
| 39 El Alto | Captura de metano | Eco Garbage |
| 40 De Martino | Captura de metano | De Martino |

das del PICC de 1996. Por ejemplo, Chile cuenta con una serie temporal de emisiones y capturas para el período 1984-2003 en el sector no energía ^A, y una serie 1984-2006 para el sector energía ^B. Desde una perspectiva sectorial, los emisores más importantes de CO₂ equivalente en el Sector Energía, son el *Transporte* e *Industrias de la Energía*, seguidos del sector de *Industrias Manufactureras* y de la *Construcción*. El transporte caminero, la generación de electricidad y la industria y minas varias, se muestran como los sub-sectores más emisores en este sector.

En el sector No Energía, el módulo de agricultura es el de mayores emisiones, siendo las subcategorías de fermentación entérica y suelos agrícolas las más importantes. El sector forestal y de cambio de uso de la tierra, si bien es capturador neto en todos los años evaluados, presenta las mayores fluctuaciones, debido fundamentalmente a los grandes incendios forestales experimentados cada vez con más frecuencia e intensidad, por lo que no alcanza a compensar las emisiones de todo el sector no-energía.

^A Considera emisiones de la agricultura, cambios de uso de la tierra y silvicultura y gestión de residuos

^B Incluye emisiones de producción y consumo de energía, procesos industriales y uso de solventes

ix) La aprobación de la Estrategia Nacional de Cambio Climático por el Consejo Directivo de CONAMA, en enero de 2006, y la conformación de su Comité Técnico y de su Directorio. La Estrategia está estructurada en base a tres ejes temáticos principales: Adaptación, Mitigación y Creación y Reforzamiento de Capacidades Nacionales. Cada eje contiene, a su vez, objetivos para abordar integralmente el problema de cambio climático, siendo el tercer eje (capacidades), un eje transversal y central para abordar adecuadamente las acciones de adaptación y de mitigación (ver **Cuadro 1.4.**).

Cuadro 1.4. Estrategia Nacional de Cambio Climático

| Objetivos | Eje |
|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Evaluación de los Impactos Ambientales y Socio-Económicos del Cambio Climático en Chile. 2. Definición de Medidas de Adaptación. 3. Ejecución y Seguimiento de las Medidas de Adaptación. | <i>Adaptación a los Impactos del Cambio Climático</i> |
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Análisis de las Opciones de Mitigación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Chile. 2. Definición de Medidas de Mitigación. 3. Ejecución y Seguimiento de las Medidas de Mitigación. | <i>Mitigación de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero</i> |
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Difundir el cambio climático y crear conciencia en la ciudadanía. 2. Fomentar la educación e investigación en cambio climático. 3. Mejorar la observación sistemática del clima. 4. Generar información de calidad y accesible para la toma de decisión. 5. Desarrollar capacidades institucionales para la mitigación y la adaptación. 6. Desarrollar y transferir tecnologías para la mitigación y la adaptación. 7. Revisar y actualizar periódicamente el inventario de gases de efecto invernadero. 8. Participar activamente en la agenda internacional de cambio climático. 9. Reforzar la cooperación internacional en cambio climático. 10. Establecer sinergias con la implementación de otras convenciones de carácter global. | <i>Creación y Fomento de Capacidades en Cambio Climático</i> |

- x) La elaboración del Plan de Acción Nacional de Cambio Climático (en curso a agosto de 2008 ^A), que dará respuesta a los objetivos planteados en la Estrategia Nacional. El PACC busca impulsar la temática del cambio climático como un eje estratégico en la política pública del país, a objeto de enfrentar adecuada y sostenidamente los desafíos de la adaptación y la mitigación. De esta manera, las acciones que se están diseñando, están orientadas a involucrar a toda la ciudadanía, y en particular, al sector público, privado y de investigación, en la elaboración, integración y aplicación de las medidas de adaptación y de mitigación del cambio climático, en sus respectivos ámbitos de acción.

El PACC está estructurado en base a un *diagnóstico* de la situación internacional e nacional en cambio climático; a las *oportunidades y requerimientos de orden estratégico* que guiarán su ejecución; y a las *acciones de corto plazo* (2007-2012), que permitirán desarrollar una línea base de conocimientos en materia de adaptación, mitigación y creación de capacidades, orientada fundamentalmente hacia la toma de decisión sobre estas materias en el largo plazo. Entre los sectores o áreas que se abordarán, destacan energía, biodiversidad, infraestructura, agricultura, recursos hídricos, minería, mecanismo de desarrollo limpio, educación e investigación; zonas costeras y recursos pesqueros.

6.1. Principales desafíos

Si bien el país ha avanzado en el cumplimiento de sus compromisos en materia de cambio climático, este es un asunto de largo plazo, que no finaliza con la sola entrega de sus comunicaciones nacionales a la Convención. En cuanto a la vulnerabilidad y adaptación al cambio climático —dadas las posibles consecuencias negativas para el país— éste debe avanzar en los estudios de impactos del cambio climático en determinados rubros productivos y de servicios, incluida la determinación de las posibles pérdidas económicas, a objeto de proponer y aprobar al más alto nivel, las medidas de respuesta a este fenómeno global. Asimismo, se estima relevante desarrollar estudios de mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero, a objeto de elaborar estrategias de mitigación sectoriales.

^A Aprobado oficialmente en diciembre de 2008

Un desafío importante será la incorporación de las medidas de adaptación y de mitigación en los planes de desarrollo nacional, regional y local, con el objetivo de abordar esta materia con una visión de largo plazo, y de generar los arreglos financieros que permitan efectuar las inversiones requeridas.

Otros desafíos relevantes a ser abordados incluyen:

- Difundir en la ciudadanía la problemática del cambio climático.
- Potenciar la agenda ambiental y de desarrollo del país a través de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático y su Protocolo de Kyoto.
- Fomentar las capacidades nacionales (investigación científica, evaluación de pérdidas económicas, otras).
- Promocionar el desarrollo tecnológico.
- Aumentar presencia de expertos en el PICC.
- Incluir cambio climático en planes de estudio de universidades, colegios e institutos técnicos.
- Orientar el uso de cooperación internacional en la materia.
- Reforzar los procesos de negociación internacional.
- Mejorar los registros climáticos locales.
- Evaluar y materializar medidas de adaptación y mitigación en ámbitos críticos (energía, humedales, otros).

Los desafíos identificados en base a las posibles consecuencias del cambio climático para Chile, a las oportunidades que ofrecen los acuerdos y convenciones internacionales suscritas en la materia y a los avances nacionales, serán abordados de manera integrada y multisectorial a través de la Estrategia Nacional de Cambio Climático antes indicada.

7. INVENTARIOS DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y SU ROL EN EL CUMPLIMIENTO DE OBLIGACIONES Y EN EL MERCADO DEL CARBONO

Los países Anexo I y con economías en transición, estos últimos correspondientes a los países que formaban parte de la ex-Unión Soviética o de la llamada Europa Oriental, tienen la obligación de presentar a la

Secretaría de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, un inventario anual de sus emisiones y capturas de gases de efecto invernadero; esta obligación rige desde 1990, con lo que, a la fecha, los países Anexo I han conformado una serie temporal entre 1990 y 2004 ^A.

Los inventarios nacionales de gases e efecto invernadero son la pieza vital del sistema conducente a medir, evaluar y certificar el cumplimiento de los países Anexo I de sus compromisos asumidos ante el Protocolo de Kyoto. Por tanto, es fundamental que estos documentos cumplan, a satisfacción, los atributos de calidad que son:

- ser transparentes, esto es, que documenten adecuadamente la información generada por el país, especialmente en aquellos ámbitos en que el inventario ha sido elaborado con métodos propios,
- ser acuciosos, en el sentido de que los valores de emisión y/o captura son los que, en función de la información disponible, son los presentan la mayor probabilidad de ser los reales, sin sobre- o subestimación de las emisiones/capturas,
- ser exhaustivos, en el sentido que cubren todo el territorio nacional, todas las categorías de emisión/captura, y cubrir todos los gases reconocidos por la Convención Marco de Naciones Unidas,
- ser comparables, en el sentido de que se han ceñido a las guías metodológicas aprobadas por la Convención Marco y los órganos subsidiarios correspondientes, que corresponden a las guías del PICC revisadas en 1996,
- ser consistentes, en el sentido de que una categoría ha sido trabajada con el mismo esquema metodológico, a lo largo de la serie temporal.

Durante este período previo al primer período de cumplimiento, tanto la Secretaría de la Convención Marco como los países Anexo I, han venido implementando el sistema que será aplicado durante el período de cumplimiento y que conducirá a determinar –en forma confiable– si un país cumplió o incumplió su compromiso ante el Protocolo de Kyoto.

^A Hay que considerar que la entrega de los inventarios tiene un desfase de 2 años, lo que significa que en 2006, se está agregando el inventario del año 2004

Por parte de la Secretaría Ejecutiva de la Convención Marco, desde fines del siglo pasado, se ha venido implementando un sistema de revisión de los inventarios nacionales de gases invernadero, lo que ha significado la capacitación de un número importante de expertos, inicialmente por la vía del aprender-haciendo, para continuar con una etapa de formación a través de cursos de capacitación [^]. Actualmente, se cuenta con un número importante de expertos revisores, con alto grado de capacitación, los que son guiados y coordinados por Revisores-Líderes (Lead Reviewers). Para cumplir una decisión del Comité de las Partes (COP, órgano máximo de la Convención), todo revisor que actuó durante el primer período de cumplimiento ha debido aprobar una serie de cursos, dictados durante el año 2006.

Por parte de los países, se ha venido ganando experiencia en la elaboración de los inventarios y en la aplicación correcta de las buenas prácticas, que tienen por objeto optimizar el resultado alcanzado, en cuanto a que el inventario cumpla holgadamente con los atributos de calidad antes descritos y que su costo sea el menor posible. En paralelo, los gobiernos de los países Anexo I han venido invirtiendo en definir y establecer un Sistema Nacional, donde se radique la elaboración de los inventarios, en todas sus fases: planificación, elaboración y gestión, y que cuente con una entidad responsable única; este Sistema Nacional debe estar plenamente vigente, a lo menos, un año antes de entrada en vigencia del primer período de cumplimiento del Protocolo de Kyoto, lo que significa el 1 de Enero del 2007.

Para los países en desarrollo, el único compromiso que adquirieron al ratificar la Convención de Cambio Climático fue la elaboración de un inventario de emisiones de gases de efecto invernadero, expresado tanto en fuentes emisoras como en fuentes de captura o sumideros de estos gases, el que debían informar a través de su *comunicación nacional inicial* (o informe país). Pero, a diferencia de los países desarrollados, sólo debían informar el inventario con año base en 1994.

Sin ser obligatorio, también podían informar en esa comunicación nacional acerca de estudios de vulnerabilidad y adaptación a los impac-

[^] El primer curso fue dictado a fines del 2002, en Ginebra. Hoy, los cursos son dictados en línea, por Internet

tos del cambio climático, y/o sobre opciones de mitigación de las emisiones. Todo lo anterior, incluido el inventario, debía ser financiado por los países desarrollados a través del mecanismo financiero de la Convención.

Conforme ha ido evolucionando la negociación internacional para implementar más cabalmente este instrumento legal, hoy en día los países en desarrollo deben ya elaborar comunicaciones nacionales con una periodicidad de 4 años, lo que implica que, a lo menos, estos países debieran establecer una periodicidad de 2 años para actualizar sus inventarios de fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero ^A. En el caso de Chile, se ha estado actualizando anualmente el inventario, resultando en que hoy se posee una serie de inventarios a partir del año 1984 hasta el año 2003, cuyos resultados se muestran y analizan en los capítulos siguientes.

La aplicación de la herramienta metodológica del PICC para inventarios ha sido muy útil para el país, puesto que ha permitido conocer no sólo qué sectores y actividades son más emisoras que otras, pero también, dada la complejidad y detalle de la información solicitada, conocer el estado de las estadísticas por rubro analizado. Con ello, se puede afirmar que Chile posee muy buenas estadísticas y una adecuada institucionalización para su actualización, lo que nos diferencia de la gran mayoría de los países en desarrollo.

Los resultados de la aplicación de la metodología PICC sirven, en consecuencia, para determinar que tipo de medidas de mitigación se pueden establecer en el país, por rubro productivo por ejemplo, lo que por analogía resulta útil también para desarrollar proyectos de reducción y captura de emisiones que se pueden promover en el mercado del carbono. En efecto, la mayor parte de las metodologías de proyectos MDL aprobadas hoy por la Junta Ejecutiva, tienen una base de cálculo importante que es tomada de la metodología del PICC. Y ello ocurre por la necesidad de tener un método de cálculo común de emisiones, a

^A Esta periodicidad para los inventarios no está así establecida por la Convención, pero es lo que debiera ocurrir a objeto de mantener la capacidad institucional y de expertos ya instalada en los países.

través de la cual se puedan comparar o revisar las estimaciones de reducción de emisiones de un proyecto MDL determinado (es decir, emisiones de línea de base menos emisiones de proyecto MDL), con otros proyectos presentados a la junta Ejecutiva.

Como se estableció en el punto 5.2 anterior, Chile ha desarrollado metodologías y registrado proyectos, cuyas fórmulas de cálculo se han basado principalmente en las guías para inventarios del PICC.

8. MERCADO DEL CARBONO Y EXPERIENCIA INTERNACIONAL EN LA VENTA DE CERTIFICADOS

En la jerga internacional, se conoce como «mercado del carbono» a la transacción entre dos o más partes interesadas, de la reducción certificada de emisiones de gases con efecto invernadero que se genera por la ejecución de proyectos de reducción o captura de GEI o la transacción de los derechos de emisión que se han establecido para aquellos países que tienen obligaciones de reducir emisiones de GEI. La unidad transable se conoce como certificado o bono de carbono.

8.1. Unidad de medida

La unidad de medida para la transacción de certificados de reducción de gases como CO_2 , N_2O , CH_4 , PFC, HCFC y HF_6 , son las toneladas de CO_2 equivalente, vale decir, que los demás gases se convierten en equivalentes de CO_2 al multiplicar su potencial de calentamiento global (GWP) por las toneladas que un determinado proyecto reduzca ^A. El GWP del CO_2 es 1. El valor de la tonelada reducida mediante un proyecto MDL (CER) se ha transado entre US\$3 y US\$7, aproximadamente ^B.

^A Por ejemplo, el metano y el óxido nitroso, que se producen durante las etapas de manejo y disposición de residuos en la industria del cerdo, tienen un GWP de 21 y 310 respectivamente. Si un proyecto transforma 1 tonelada de metano en dióxido de carbono, se está generando 21 toneladas de CO_2 . La misma operación de multiplicación se debe hacer para el valor monetario de cada certificado

^B El precio de un CER está valorado por el estado de avance en el proceso aprobatorio y la modalidad seleccionada de pago. Mientras más avanzado esté un proyecto MDL en su aprobación, el valor del CER se incrementa pues va disminuyendo el riesgo de generación y entrega de los certificados al comprador

8.2. Tipos de mercado del carbono

Entre los diferentes tipos de mercado en que se han transado los certificados de carbono destacan el de cumplimiento internacional (Kyoto), los mercados nacionales y regionales (Unión Europea, Gran Bretaña, Dinamarca), mercados provinciales o sub-nacionales (Australia, EEUU), mercados informales (compañías e individuos que voluntariamente han reducido emisiones de GEI) y mercados de certificados de energías renovables.

Estos mercados pueden agruparse en base a dos tipos de transacciones: mercados de *emisión* y mercados basados en *proyectos*. Entre los primeros, se pueden citar el Sistema de Transacción de Emisiones de la UE (EU ETS), el Nuevo Esquema de Abatimiento de GEI de South Wales (NSW), el Chicago Climate Exchange (CCX) y el Sistema de Transacción de Emisiones de Gran Bretaña (UK ETS). En los segundos, está el generado por las obligaciones de Kyoto, y también el de EU-ETS y el de NSW, en los cuales las transacciones se efectúan de preferencia en mercados que tienen establecidos sistemas de cumplimiento.

Las estimaciones de los analistas de mercado indican que el futuro mercado global de GEI se situará entre los US\$10 mil millones a US\$1 billón para el año 2010. Desde 1997 hasta fines de 2004, se habían transado más de 250 millones de toneladas de CO₂ equiv, en un mercado que aún no contaba con la certidumbre legal de la entrada en vigor del Protocolo de Kyoto, pero que estaba operando en base a las mismas reglas de este tratado internacional.

La ratificación del Protocolo de Kyoto en Febrero de 2005, el inicio del sistema de transacciones de la Unión Europea en enero del mismo año, y la probable creación de otros mercados nacionales como en Canadá, Japón y Noruega, han infundido mayor dinamismo a este vibrante mercado.

8.3. Experiencias en los diferentes mercados

El **Cuadro 1.5.** muestra las transacciones ocurridas en 2006 y 2007 en los Mercados de Permisos de Emisión y los Mercados Basados en Pro-

Cuadro 1.5. Mercado del Carbono, Valores y Volúmenes transados en el período 2006-2007

| | 2006 | | 2007 | |
|---|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| | Volumen (MtCO ₂ e) | Valor (Millón dólares US) | Volumen (MtCO ₂ e) | Valor (Millón dólares US) |
| Permisos de emisión: | | | | |
| STE Unión Europea | 1.104 | 24.436 | 2.061 | 50.097 |
| Nueva Gales del Sur (provincia de Australia) | 20 | 225 | 25 | 224 |
| Mercado de intercambio climático de Chicago | 10 | 38 | 23 | 72 |
| STE Reino Unido | na | na | | |
| Sub total | 1.134 | 24.699 | 2.109 | 50.394 |
| Transacciones basadas en proyectos: | | | | |
| MDL primario | 537 | 5.804 | 551 | 7.426 |
| MDL secundario | 25 | 445 | 240 | 5.451 |
| Implementación Conjunta | 16 | 141 | 41 | 499 |
| Otras transacciones de cumplimiento/voluntarias | 33 | 146 | 42 | 265 |
| Sub total | 611 | 6.536 | 874 | 13.641 |
| Total | 1.745 | 31.235 | 2.983 | 64.035 |

STE: Sistema de transacción de emisiones; MDL: Mecanismo de desarrollo limpio
Fuente: Estado y Tendencias en el Mercado del Carbono, 2008, Banco Mundial.

yectos. Según los datos, este mercado creció al 2007 en un valor estimado de 64 mil millones de dólares estadounidenses, dos veces más que en el 2006 [^]. La venta y re-venta de permisos de emisión en el sistema de transacción de la Unión Europea dominó esta cifra, con un valor cercano a los \$US 50 mil millones.

La transacción de bonos de carbono provenientes de proyectos bajo el MDL y el mecanismo de Implementación Conjunta, creció hasta un valor cercano a los US\$7.5 mil millones, en el que alrededor de un 91% de este valor fue provisto por proyectos MDL de países en desa-

[^] State & Trends in the Carbon Market, 2008, Banco Mundial

rollo. Y el mercado voluntario, formado por corporaciones e individuos, creció fuerte en comparación con el 2006, en aproximadamente US\$265 millones.

8.4. Sistema de Transacción de Emisiones de la Unión Europea

En enero de 2005, la Unión Europea dio inicio a un sistema de transacción de derechos de emisión de gases invernadero, fundamentado en los preceptos de Kyoto, el que además contiene una *Directiva de Enlace* que permite la comercialización de certificados de carbono provenientes de otros países, fundamentalmente del mundo en desarrollo. Este sistema posee sanciones pecuniarias para aquellos países europeos que no cumplan con sus planes de reducción acordados, con multas que van desde los 40 euros hasta los 100 euros por tonelada de CO₂ equivalente no reducida. Está fundamentado en dos etapas: una hasta el 2008 (ETS-1, mercado "spot") y la otra, a partir de diciembre del 2008 (ETS-2).

El mercado europeo ETS-1 es el primer mercado vinculante para créditos de reducción de emisiones puesto en operación y representa un alto potencial de demanda para CERs de proyectos MDL. En su primer año de operación, se transaron cerca de 8 mil millones de dólares en compras y ventas de créditos de carbono, y se esperaba una triplicación de ese volumen durante el 2006, lo que ocurrió, al transarse algo más de 24 mil millones de dólares.

En ese sistema, la transacción de unidades de reducción de emisiones (artículo 6 de implementación conjunta), alcanzó en el 2005 los 29 euros por tonelada abatida. Durante el primer trimestre del 2006, este valor decayó a 12 euros por tonelada, debido a que las emisiones de algunos países de la UE, que informaron adelantadamente de su cumplimiento de los planes de reducción aprobados, fueron menores que los niveles permitidos, lo que generó un exceso de certificados, y por consiguiente, una menor demanda. Ello puede significar que las exigencias de los planes de reducción de emisiones han sido muy laxas hasta ahora, lo que genera un incentivo para aumentar las restricciones de reducción de los países de la UE.

Esta situación se ha corregido, y algunos países (como Alemania), han indicado que subirán las exigencias de sus planes de reducción de emisiones, lo que automáticamente hizo subir el precio de los certificados. En la **Figura 1.5.**, se muestra la variación de precios de los permisos de emisión en el ETS-1 para el período abril-mayo de 2006, que presentan una volatilidad muy alta, muy marcada a su vez por las decisiones de la autoridad de cada país involucrado en ese sistema.

Después de haber llegado a su máximo precio de 30 euros en abril de 2006, el ETS-1 perdió dos tercios de su valor luego de la liberación no coordinada de información sobre emisiones verificadas hasta ese momento. Hacia fines de 2006 y principios de 2007, el ETS-1 bajó aún más su valor, a niveles incluso menores a 1 euro, influido por la inhabilidad de guardar permisos de emisión no utilizados para la Fase II (ETS-2). Debido a asuntos propios a los mercados europeos de energía, los precios comenzaron a subir nuevamente, llegando a 16 euros el precio de los contratos para las fases I y II.

A pesar de esta volatilidad en precios experimentada en el ETS-1, en cualquier caso el Sistema de Transacciones de la Unión Europea y su Directiva surgen como una solución legal y de mercado importante

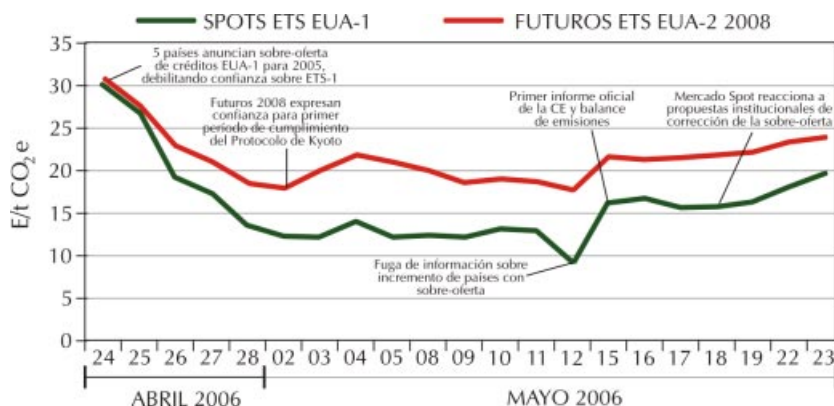


Figura 1.5. Precios Influidos por Propuestas Correctivas de Reguladores Europeos

CE: Comunidad Europea; ETS-I: Emissions Trading System I
 EUA-I: Emisión Units Allowance (Unidades o cuotas de permisos de Emisión)

para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, frente a la incertidumbre de si habrá un segundo y subsecuentes períodos de cumplimiento de compromisos bajo el Protocolo de Kyoto, después del 2012. Cabe destacar que este sistema no posee fecha de término.

8.5. Fondos de Carbono

Existen una serie de iniciativas orientadas a la adquisición de bonos de carbono, que se pueden resumir en tres grandes áreas: Fondos o programas de adquisición de CERs administrados por Gobiernos o por encargo de estos; Fondos Multilaterales (como los del Banco Mundial) y Fondos Privados. En el **Cuadro 1.6.**, se indican una serie de ejemplos en operación.

Fondos de Carbono del Banco Mundial. Mención aparte merece el trabajo efectuado desde fines de 1999 por el Banco Mundial, que comenzó a implementar las reglas del Acuerdo de Marrakech para los proyectos MDL y de Implementación Conjunta, mucho antes que entrara en vigor el Protocolo de Kyoto. Su trabajo pionero, que comenzó con el establecimiento del Fondo Prototipo de Carbono para financiar proyectos del área de energías renovables, cambio de combustibles, eficiencia energética y manejo de desechos, hoy en día se ha expandido hacia la creación de varios otros fondos ^A que financian proyectos de reducción y captura de emisiones de GEI.

Todos los fondos de carbono del Banco Mundial operan de manera similar: Gobiernos y empresas de países industrializados aportan financiamiento para el desarrollo de proyectos basados en las reglas de Kyoto, el que es administrado por la Unidad de Financiamiento del Carbono. Por su parte, los países anfitriones de los fondos (países en desarrollo), presentan una idea de proyecto MDL o de implementación conjunta, la cual es sometida al escrutinio de expertos de dicha Unidad. Si es aceptada para alguno de los fondos, el Banco Mundial proveerá los recursos financieros y técnicos necesarios a objeto de financiar los costos de desarrollo del documento de diseño del proyecto, la

^A Fondo Español, Fondo Italiano, Fondo Holandés y Fondo para el Desarrollo de Comunidades, entre otros.

Cuadro 1.6. Fondos de carbono en operación

| | |
|---|--|
| Fondo Prototipo de Carbono (PCF) (*) | Energías Renovables |
| Fondo de Carbono Europeo | Todos los sectores, menos forestación y reforestación |
| Fondo de Carbono Alemán (KfW) | Eficiencia energética, energías renovables |
| Fondo Holandés de la Corporación Internacional Financiera (INCaF) | Eficiencia energética, energías renovables, captura de metano y cambio de combustibles |
| Fondo del Carbono Japonés | Todos los sectores |
| Fondo de Carbono para el Desarrollo Comunitario (CDCF) (*) | Mini hidroeléctricas, uso de residuos sólidos urbanos y agrícolas, eficiencia energética, transporte y bosques |
| Fondo de los Países Bajos para el MDL (NCDF) (*) | Energías Renovables, transporte, industria |
| Fondo del Carbono Italiano (*) | Todos los sectores y tecnologías |
| Fondo Español (*) | Todos los sectores y tecnologías, menos proyectos forestales |
| Fondo BioCarbon (*) | Agricultura, silvicultura, sumideros de carbono |
| Fondo Danés de Carbono (DCF) (*) | Energía eólica, hidráulica, de biomasa, ciclos combinados, proyectos de rellenos sanitarios |
| Programa Latinoamericano del Carbono (PLAC) | Energías renovables, transporte, industria y captura de carbono |
| Fondo de Centavo Climático | Eficiencia energética, energías renovables, captura de metano y cambio de combustibles |

(*) Fondos administrados por el Banco Mundial.

Base de información: www.ProChile.cl

metodología de línea de base, el desarrollo del protocolo de monitoreo y verificación y el contrato de compra y venta de reducciones entre proponente y comprador.

Adicionalmente, el Banco Mundial ha estado publicando una serie de documentos relativos a cambio climático, a los fondos que administra y al mercado del carbono, siendo uno de ellos el documento sobre el Estado y Tendencias del Mercado del Carbono a nivel mundial (que se actualiza anualmente), que entrega información muy completa sobre

el comportamiento actual y futuro de los distintos mercados (formales y voluntarios). Las dos secciones siguientes muestran un resumen de la información de dicho documento.

8.6. Compradores de bonos de carbono

Por segundo año consecutivo, los compradores europeos dominaron el Mercado del MDL y de la implementación conjunta, y al cerrar el 2007, su participación alcanzaba el 90% (algo más que en 2006). (Figura 1.6.).

Los compradores más activos fueron compañías privadas, con un volumen transado de 79% (un 2% más que en 2006). Londres se sigue erigiendo como el centro neurálgico de las transacciones, que aumentaron de 54% en 2006 a 59% en 2007.

Por su parte, Japón ha vuelto a subir en transacciones, prácticamente duplicando su participación del 6% en 2006 a 11% en 2007.

8.7. Vendedores de bonos de carbono

Por tercer año consecutivo, China fue líder mundial en el suministro de proyectos MDL, con una participación del 73% en el mercado en tér-

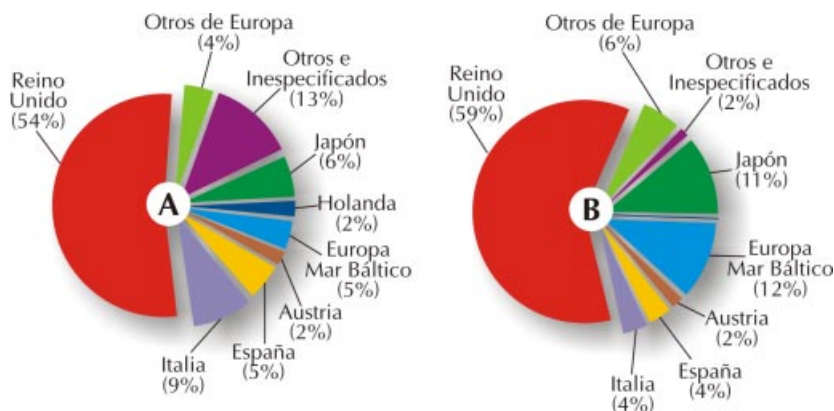


Figura 1.6. Principales compradores de bonos de carbono
 A: 2006, overall volume 553 MtCO₂e; B: 2007, overall volume 592 MtCO₂e.

Fuente: Banco Mundial, State and Trends in the Carbon market, 2008

minos de volúmenes transados (comparado con el 54% en 2006). (Figura 1.7). Liderando con el 62% del suministro de MDL primario, China sigue siendo un destino ideal para compradores de créditos de carbono, debido a su gran tamaño y a su clima favorable a la inversión. Los compradores han informado el cierre de transacciones en el rango de 8-11 euros la tonelada de CO₂ equivalente, con una o dos transacciones notables por sobre 13 euros en los últimos meses.

China consolidó su posición como el principal proveedor de bonos de carbono, al cuadruplicar su número de proyectos en el período enero 2007 - marzo 2008, lo cual lo sitúa muy por delante de otros países con un 53% del suministro potencial de CERs al 2012, y con 1104 proyectos.

Por su parte, Brasil e India, cada uno con una participación del 6% del Mercado, transaron los volúmenes más altos después de China, aunque ambos bajaron sus volúmenes con respecto a los niveles de 2006. África les sigue con un 5% del Mercado. En comparación con su posición en el suministro de proyectos MDL, tanto India como Brasil poseen una participación relativamente baja en el mercado de transacciones.

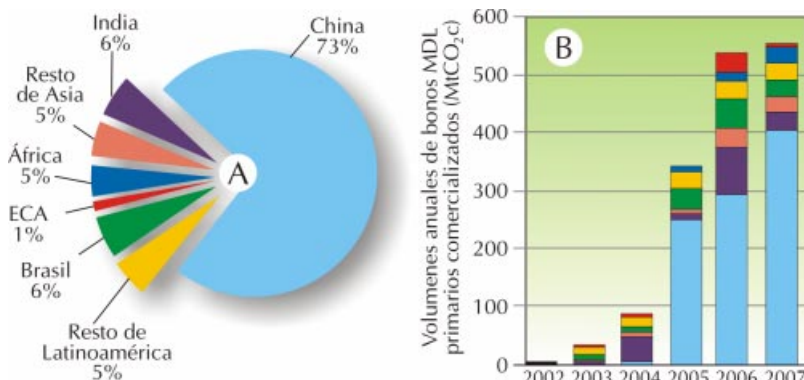


Figura 1.7. Principales vendedores de bonos de carbono

A: 2007; B: 2002-2007.

Fuente: Banco Mundial, State and Trends in the Carbon market, 2008

8.8. Operación del sistema de proyectos de bonos de carbono en Chile

En el año 2003, Chile constituyó la Autoridad Nacional Designada (AND) para el Mecanismo de Desarrollo Limpio, cuya máxima representación radica en el Consejo Directivo de CONAMA. Para cumplir con las funciones propias de la AND, se delegó en un Comité las funciones de análisis de pertinencia e integridad de los antecedentes que se piden para postular al MDL. Este Comité, presidido por el Director Ejecutivo de CONAMA, está integrado además por un representante de CONAMA; del Ministerio de Relaciones Exteriores; del Ministerio de Agricultura; de la Comisión Nacional de Energía, y del Consejo de Producción Limpia.

Tratándose de proyectos que involucren a ministerios o servicios públicos distintos de los anteriores, el Comité convocará a uno o más representantes de dichos órganos de la administración del Estado.

Para los efectos de analizar la pertinencia e integridad de los antecedentes presentados por un proponente de un proyecto MDL, el Comité se basa en los criterios que inspiran el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), contemplados en la Ley N° 19.300. Por ejemplo, tratándose de proyectos sujetos al SEIA y que hayan obtenido calificación ambiental favorable y esta se encuentre a firme, se presumirá que cumplen con los requisitos de sustentabilidad a que se refiere el artículo 12 del Protocolo de Kyoto. Si por el contrario, cuando se trate de proyectos o emprendimientos que no deban someterse al SEIA, conforme a la legislación vigente, deberán acompañar los permisos y autorizaciones sectoriales que contempla la ley.

Analizados los antecedentes por el Comité, el Director Ejecutivo de la CONAMA emite la carta de aprobación solicitada por el proponente y parte fundamental del proceso para registrar un proyecto MDL, la que autoriza la participación del titular del proyecto en el MDL, la participación del proyecto en el MDL; y confirma la contribución del proyecto al desarrollo sustentable del país, y la participación voluntaria del proyecto en el MDL.

El Cuadro 1.3. contiene el portafolio de proyectos aprobados por la AND a comienzos de mayo de 2007.

ANEXO

Análisis de vulnerabilidad en Agricultura, Recursos Hídricos y Silvicultura, Primera Comunicación Nacional.

| Variable analizada | Escenario Futuro (duplicación de CO ₂) |
|--|---|
| <p>Cambios en la precipitación</p> | <p>Los resultados indican cambios mayores a 30% en la pluviometría anual de ciertas áreas del país. La zona altiplánica podría recibir un incremento de las precipitaciones, como consecuencia de la mayor actividad ciclónica tropical; desde la II Región hasta Puerto Montt en la X Región, la precipitación exhibiría una disminución con respecto al Escenario Base (1* CO₂), que podría llegar a 20-25%. De Chiloé al sur, la precipitación podría aumentar haciendo más lluviosos los climas australes.</p> |
| <p>Cambios en la temperatura</p> | <p>Los modelos utilizados predicen cambios significativos de la temperatura sobre el territorio chileno. En la zona norte (I y II regiones), habrían aumentos bajo los 2°C, mientras que en el centro del país y la región austral, el alza podría bordear los 3°C.</p> |
| <p>Cambios en el régimen hídrico global</p> | <p>La precipitación anual muestra una significativa disminución, especialmente en la zona central. Con las variaciones del <i>déficit hídrico anual</i>, se aprecia claramente un aumento de la aridez en la zona norte y central del país, la que penetra sensiblemente por el Valle Central entre la Región Metropolitana y la VIII Región. La IX y X Regiones muestran también un cierto aumento en su déficit hídrico. Al sur de Puerto Montt, este déficit desaparece.</p> |

Cambios en el régimen térmico global

Los aumentos en la temperatura modificarán variables secundarias relevantes para el desarrollo de la agricultura (heladas, horas de frío, ocurrencia de días cálidos y otras). Los climas se harían considerablemente más cálidos, trasladándose condiciones actuales en la costa de la II Región hasta la IV Región. En el centro del país también se produciría un desplazamiento hacia climas sensiblemente más cálidos. Este desplazamiento influiría de manera importante sobre las zonas de cultivo de los frutales y de los cultivos industriales. El potencial ganadero de las regiones australes podría aumentar.

Praderas naturales

En la zona del altiplano, debiera esperarse una ampliación del sector climáticamente apto para el desarrollo de praderas, y un aumento de los rendimientos de las praderas existentes; en la zona sur (X Región) y extremo sur (Tierra del Fuego) también se proyecta un escenario futuro favorable. En la XI Región se observa un deterioro en la producción asociado, probablemente, a un exceso de agua en el suelo como consecuencia de una mayor pluviometría. En la zona central del país, en cambio, los efectos del cambio climático debieran presentarse en forma negativa reflejándose en una sensible caída en la productividad de las praderas anuales entre la IV y la IX Regiones.

Recursos Forestales

Se produce un notable deterioro del potencial en las regiones V, VI y parte de la VII Región. Por el contrario, se observa una notable expansión de la zona de mayor potencial desde la VIII Región hacia el sur. El potencial forestal de la X Región aumenta sensiblemente, expandiéndose

Cultivos

se hacia el interior y la precordillera. Incluso en las Regiones XI y XII podría producirse un mejoramiento de los potenciales de producción.

Para el conjunto del territorio nacional, el balance es positivo en la medida que las existencias de agua permitan asegurar la satisfacción de los requerimientos de riego. Quizás es éste el factor de mayor incertidumbre y se transforma por lo tanto, en un elemento de riesgo para la agricultura de varias regiones del país, especialmente en la región central. Para la agricultura de secano la situación podría ser más negativa en la región centro norte (IV y V Regiones), donde los únicos cultivos de secano son aquellos sembrados en invierno. Por el contrario, a partir de la VI Región, un alza en las temperaturas invernales podría atenuar el régimen de heladas, permitiendo desplazar las siembras de primavera, especialmente en la costa (fréjol, maíz, papa) hacia el invierno, aprovechando con ello la humedad del suelo y las precipitaciones invernales.

Fruticultura

Respecto de la fruticultura de clima templado-cálido, donde la zona más productiva se ubica entre las regiones Metropolitana y VII, el escenario futuro produce una importante expansión de las zonas productivas, tanto hacia el norte como hacia el sur. En este escenario, la vid es fuertemente beneficiada por la atenuación del régimen de heladas hacia los sectores interiores del territorio. Junto al beneficio productivo que esto significa, como contrapartida podría producirse un aumento de la precocidad en la maduración, perdiendo con ello las ventajas com-

Impacto productivo del riego

petitivas actuales que exhibe el norte del territorio. Para el duraznero, se expande la zona de cultivo hacia la VIII y parte de la IX Regiones, y mejoran las condiciones de producción en zonas precordilleranas. Para la fruticultura de clima templado, las condiciones de producción mejorarían considerablemente, como consecuencia de la disminución de las heladas y de temperaturas primaverales más benignas. El único factor de riesgo podría ser la disminución de la disponibilidad de frío invernal, lo que aconsejaría el uso de variedades menos exigentes en frío o el uso de prácticas inductoras de la quiebra del receso invernal. Probablemente debido a este mismo hecho, el Valle Central continuaría siendo más productivo que los sectores costeros. Es probable que la fruticultura subtropical sea una de las más beneficiadas con el aumento de la temperatura y posiblemente, de la humedad relativa. El potencial de producción podría expandirse hacia el sur y hacia regiones costeras que en la actualidad no ofrecen garantías para una adecuada maduración. Los Valles de la III Región al norte aumentarían considerablemente su potencial productivo. La atenuación del régimen de heladas, permitiría una importante expansión de los cítricos hacia regiones interiores.

En la región central, a pesar del aumento en la evapotranspiración, los requerimientos de riego de los cultivos de verano (maíz, fréjol, girasol, hortalizas), podrían disminuir, especialmente en la costa, como resultado del desplazamiento de las fechas de siembra hacia el invierno. Ello permitiría un mejor aprovechamiento del

Vulnerabilidad de los tipos forestales

agua de las precipitaciones. Desde la VI Región al sur, por la costa, la diferencia de rendimientos en riego y secano tendería a disminuir, mientras que hacia la precordillera esta aumentaría, especialmente de la VII Región al sur. Hacia la X Región se espera un aumento de la productividad. Pero en la zona central (regiones V, Metropolitana y VI), una disminución de la precipitación afectará a los rendimientos sin dar lugar a cambios en las fechas de siembra.

Frente a un cambio del régimen hídrico actual: se observa una evolución hacia regímenes menos áridos en el extremo norte (zonas del sector altiplánico), hacia regímenes más húmedos en la zona sur del país, y evoluciones hacia regímenes más secos en el resto del país, siendo los tipos forestales afectados por la evolución del clima a condiciones de mayor aridez el de Tipo Esclerófilo en las V y VI Regiones, Roble-Raulí-Coigüe y Roble-Hualo en la VII Región, Roble-Raulí-Coigüe, Coigüe-Raulí-Tepa, Lenga y Ciprés de la Cordillera, en la VIII Región, Roble-Raulí-Coigüe, Coigüe-Raulí-Tepa, Lenga, Siempre verde y Araucaria en la IX Región, Roble-Raulí-Coigüe, Coigüe-Raulí-Tepa, Lenga, Siempre verde, Araucaria y Alerce en la zona norte de la X región. Frente a condiciones de mayores precipitaciones: los tipos forestales afectados son *Lenga*, *Siempre verde* y *Roble-Raulí-Coigüe* en la zona sur de la X Región, *Siempre verde*, *Ciprés de las Guaitecas*, *Lenga* y *Coigüe de Magallanes* XI Región, *Lenga*, *Ciprés de las Guaitecas* y *Coigüe de Magallanes* en la XII Región.

Vulnerabilidad global de la agricultura

La mayor vulnerabilidad de la agricultura se produce entre la IV y la X regiones. Si se comparan las comunas costeras, de alta vulnerabilidad intrínseca, con las del Valle Central, de alta intensificación agrícola, se puede constatar una cierta compensación entre ambas variables, lo que homogeneiza la vulnerabilidad de la Zona Central. La menor vulnerabilidad la exhiben las zonas desérticas, cordilleranas y el extremo austral, donde la agricultura ocupa un lugar marginal.

Recursos hídricos

Las cuencas nivales de la zona central podrían registrar una disminución de la escorrentía, como consecuencia de la menor pluviometría. No obstante, en el corto plazo, un aumento de la temperatura podría generar aumentos de la escorrentía por el mayor aporte debido al derretimiento de las reservas de hielo. La escorrentía de las cuencas pluviales de la IX y X regiones generarían respuestas proporcionales a los cambios en la pluviometría. Igual situación es esperable para cuencas de la XI y XII regiones, donde la escorrentía podría aumentar.

Incidencia de plagas y enfermedades

Para todos los rubros analizados (frutales, viñas y parronales, cereales y otros), el ataque por hongos en años lluviosos se verá favorecido (efecto negativo severo), en los escenarios futuros. Este efecto está moderado por las temperaturas, de modo que en la zona sur del país, el ataque por hongos podría verse atenuado por bajas temperaturas. También es considerado como un factor relevante en la severidad de este ataque, la distribución de las precipitaciones;

así, en escenarios futuros con lluvias primaverales, el efecto negativo se hace más probable y severo. En el caso de insectos y ácaros, años lluviosos debieran generar condiciones desfavorables para la producción agrícola en la zona norte, por esperarse mayor sustrato para el desarrollo de éstos (efecto leve negativo); en cambio, en la zona centro y sur del país, años lluviosos acompañados de temperaturas bajas, debieran generar una disminución de la población de insectos, al prolongar los ciclos reproductivos (efecto positivo leve). Un efecto contrario debiera presentarse en años secos.

