

ELEMENTOS PARA UN PLAN FORESTAL ORIENTADO A LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN VENEZUELA

ELEMENTS FOR A FOREST PLAN AIMED AT MITIGATING CLIMATE CHANGE IN VENEZUELA

JOSÉ RAFAEL LOZADA D.

ORCID: 0000-0001-6781-6053

Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Instituto de Investigaciones para el Desarrollo Forestal (INDEFOR). E-mail: jolozada61@gmail.com

Recibido 29 septiembre 2022 – Aceptado 23 diciembre 2022

Resumen

El consumo de combustibles fósiles, que se ha incrementado en el planeta desde la revolución industrial, ha liberado dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera y eso ha generado un aumento de la temperatura media del planeta que pronto llegará a 1,5 °C. Esto traerá graves consecuencias en los ecosistemas y en la población humana, tales como: eventos extremos de precipitación y de sequía, incremento de incendios de vegetación, cambios en la productividad agropecuaria, aumento de los huracanes y ciclones, disminución de los glaciares, aumento del nivel del mar, inundaciones en poblaciones costeras, salinización en humedales costeros e incremento de enfermedades tropicales.

Esos problemas han conducido a la comunidad internacional a definir acuerdos para mitigar las emisiones de CO₂. Con el Protocolo de Kyoto (1997) se pretendía reducir las emisiones en el período 2008-2012; en el Acuerdo de París (2015) se decidió alcanzar las emisiones netas cero para el año 2050. Para lograr esas metas se han ejecutado mecanismos de financiamiento que alcanzan a millardos de dólares. Pero, todos los indicadores muestran que no se están logrando los objetivos de reducir las

Palabras clave:

biomasa,
dióxido de carbono,
sumidero,
plantaciones forestales,
emisiones netas cero.

emisiones ni detener el aumento de temperatura del planeta.

Las emisiones per cápita de Venezuela son las más altas de toda Latinoamérica y el total de 2019 llegó a 300×10^6 tCO₂; debe destacarse que eso fue en un solo año. Este documento pretende explorar las opciones para mitigar esas emisiones mediante proyectos forestales. Las alternativas con mayor potencial de sumidero de CO₂ son las plantaciones forestales; las mejores experiencias y posibilidad de ampliación en Venezuela se han logrado con Pino Caribe y Teca (almacén promedio de 311,5 tCO₂/ha). Para mitigar las emisiones de un año, con esas especies, se necesitaría plantar un total anual superior a un millón de ha; eso es operativamente imposible. Existen reportes, de otros países, sobre el potencial de almacenamiento de Paulownia (2.500 tCO₂/ha); con esa especie la cuota de plantación anual bajaría a 120.000 ha/año; pero no hay información técnica sobre experiencias en Venezuela de dicha especie. Si fueran sólo las emisiones de la explotación petrolera (unos 210 millones de barriles en 2022, que generan 90×10^6 tCO₂), la cuota de plantación con la combinación Pino-Teca sería 288.925 ha/año y con Paulownia 36.000 ha/año. Todas estas cifras son inmensas y eso ratifica el argumento ampliamente divulgado de que ES OBLIGANTE DISMINUIR LAS EMISIONES.

En todo caso, se hacen cálculos económicos y financieros sobre proyectos de plantaciones con Pino Caribe, Teca y Paulownia, con los escenarios de que sólo se venda la madera, sólo se vendan créditos de CO₂ y la venta conjunta. Los principales resultados son: el Pino Caribe tiene una Tasa Interna de Retorno (TIR) entre 4 y 11 %, en general el Valor Presente Neto (VPN) es negativo, sólo es positivo (175 US\$/ha) cuando se vende la madera y el carbono (10 US\$/t) y la tasa de oportunidad es 10 %. La Teca tiene una TIR entre 9 y 20 %, el VPN de venta conjunta (tasa de oportunidad 10 %) es 5.672 US\$/ha y el beneficio neto acumulado total es 139.220 US\$/ha. El extraordinario crecimiento de Paulownia hace que esas plantaciones tengan indicadores de rentabilidad muy elevados: TIR entre 50 y 87 %, VPN entre 9.000 y 55.000 US\$/ha. Para todas las especies, el indicador TIR muestra mayores valores en el escenario de sólo CO₂ (con valor de venta de 10 US\$/t) que el de sólo madera; obviamente, los dos integrados aportan mayor TIR. Con el precio de 5 US\$/tCO₂ eso ocurre sólo en Paulownia.

Estos resultados no consideran los otros beneficios

ambientales y socio-económicos de las plantaciones, tales como: control de erosión, regulación del régimen hídrico, aporte de empleo, etc. Posiblemente, con técnicas de economía ambiental se podría asignar valor económico a estos aspectos y de esa manera debería aumentar la rentabilidad. Esto es especialmente importante en el Pino, porque esas plantaciones se están realizando en sabanas que, en general, no tienen uso ni beneficios para la población. La opción de sólo aprovechar el sumidero de CO₂ (sin aprovechar ni vender la madera) tiene muy poca viabilidad social; eso significaría la pérdida de oportunidades de empleo y desarrollo industrial y comercial aguas abajo del proyecto.

Abstract

The consumption of fossil fuels, which has increased on the planet since the industrial revolution, has released carbon dioxide (CO₂) into the atmosphere and this has generated an increase in the planet's average temperature that will soon reach 1.5 °C. This will have serious consequences for ecosystems and the human population, such as: extreme precipitation and drought events, an increase in vegetation fires, changes in agricultural productivity, an increase in hurricanes and cyclones, a decrease in glaciers, an increase in sea level, flooding in coastal towns, salinization in coastal wetlands and an increase in tropical diseases.

Key Words:

biomass,
carbon
dioxide,
sink,
forest
plantations,
net zero
emissions.

These problems have led the international community to define agreements to mitigate CO₂ emissions. The Kyoto Protocol (1997) was intended to reduce emissions in the period 2008-2012; in the Paris Agreement (2015) it was decided to attain net zero emissions after 2050. To achieve these goals, financing mechanisms have been implemented that reach billions of dollars. But, all the indicators show that the objectives of reducing emissions or stopping the increase in the planet's temperature are not being fulfilled.

Venezuela's per capita emissions are the highest in all of Latin America and the total for 2019 reached 300 x 10⁶ tCO₂; it should be noted that this was in a single year. This document intends to explore options for mitigating those emissions through forestry projects. The alternatives with the greatest CO₂ sink potential are forest plantations; the best experiences and expansion possibilities in Venezuela are with Caribbean Pine and Teak (average storage of 311.5 tCO₂/ha). To mitigate the emissions of one year, with these

species, it would be necessary to plant an annual total over one million ha; that is operationally impossible. There are reports from other countries on the storage potential of Paulownia (2,500 tCO₂/ha); with this species the annual plantation quota would drop to 120,000 ha/year; but there is no technical information on experiences in Venezuela of this species. If it were only the emissions from oil production (some 210 million barrels in 2022, which generate 90x10⁶ tCO₂), the plantation quota with the Pine-Teak combination would be 288,925 ha/year and with Paulownia 36,000 ha/year. All these numbers are huge and that confirms the widely publicized argument that it IS MANDATORY TO DECREASE EMISSIONS.

In any case, economic and financial calculations are made on plantation projects with Caribbean Pine, Teak and Paulownia, with the scenarios that only the wood is sold, only CO₂ credits are sold, and joint sales. The main results are: the Caribbean Pine has an Internal Return Rate (IRR) between 4 and 11 %; in general the Net Present Value (NPV) is negative, it is only positive (175 US\$/ha) when the wood and carbon (10 US\$/t) are both sold and the opportunity rate is 10 %. Teak has an IRR between 9 and 20 %, the NPV of joint sale (10 % opportunity rate) is 5,672 US\$/ha and the total accumulated net benefit is 139,220 US\$/ha. The extraordinary growth of Paulownia means that these plantations have very high profitability indicators: IRR between 50 and 87 %, NPV between 9,000 and 55,000 US\$/ha. For all species, the IRR indicator shows higher values in the CO₂-only scenario (with a sale value of 10 US\$/t) than in the wood-only scenario; obviously, the two integrated provide a higher IRR; with the price of 5 US\$/tCO₂ that happens only in Paulownia.

These results do not consider the other environmental and socio-economic benefits of the plantations, such as: erosion control, regulation of the water regime, employment contribution, etc. Possibly, with environmental economics techniques, economic value could be assigned to these aspects and thus profitability should increase. This is especially important in Pine, because these plantations are being carried out in savannahs that, in general, have no use or benefits for the population. The option of only taking advantage of the CO₂ sink (without harvesting or selling the wood) has very little social viability; that would mean the loss of employment opportunities and industrial and commercial development downstream of the project.

PREÁMBULO

La literatura sobre el cambio climático, y los mecanismos de negociación de bonos o de créditos de carbono, es inconmensurablemente extensa y difícil de dominar.

Particularmente complicados son los documentos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC); ésta es la organización líder en estos asuntos, pero inclusive sus resúmenes para responsables de políticas están llenos de una redacción científica muy densa y exagerado uso de acrónimos (sin explicación inmediata), todo lo cual dificulta su lectura para los no expertos. La página web de esta institución es poco amigable y la consulta de datos es sumamente compleja. Por eso, en este trabajo, se acudió a fuentes más sencillas, de instituciones respetables y que aparentemente ofrecen datos confiables. En todo caso se hicieron algunas comparaciones para comprobar los datos utilizados.

Todo lo antes expuesto significa que el presente documento puede tener algunos aspectos controversiales. Eso se reconoce. De hecho, con anterioridad, el autor elaboró una propuesta donde se hicieron cálculos de rentabilidad que eran incorrectos debido a que (entre otras cosas) se usaron precios de bonos de carbono del sistema europeo (European Trading System); eso fue una falla porque una revisión más cuidadosa indica que ese sistema excluye los proyectos forestales. Afortunadamente, ese fue un planteamiento que atendió a una consulta muy particular dentro de la ULA, no hubo acuerdos conceptuales y no tuvo mayor trascendencia.

Una versión anterior de este documento fue sometida a una consulta preliminar y se hicieron varias correcciones. Se expresa agradecimiento a las siguientes personas que contribuyeron, en algunos aspectos puntuales, a la mejora de este trabajo: Emilio Vilanova (Analista de carbono forestal en Wildlife Conservation Society), Ana Hernández (Consultora en cambio climático, Grupo Sylvestris), Dinosca Rondón (Especialista en carbono forestal en Canopia Carbon), Daniel Pegoretti De Souza (Gerente de operaciones de reforestación en Finite Carbon) y Norqui Peña (Profesora de economía y evaluación de proyectos en la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, ULA).

Se considera que, en la situación actual, este documento es una necesidad. Pretende incluir desde conceptos básicos sobre el cambio climático, los mecanismos de mitigación y negociación, la situación de Venezuela sobre estos aspectos y un análisis de rentabilidad de algunas alternativas para ejecutar plantaciones forestales con este objetivo. Ojalá que se tome en cuenta para definir con asertividad la política del

16• JOSÉ RAFAEL LOZADA D.

país relacionada con el Cambio Climático.

Adicionalmente debe aclararse que, a menos que se indique otra fuente, las imágenes de este documento fueron elaboradas por el autor.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Cambio climático

Desde la revolución industrial, la humanidad ha estado consumiendo cantidades crecientes de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas), para el funcionamiento de máquinas de diversos tipos: vehículos, tractores, trenes, barcos, fábricas, plantas termoeléctricas, etc. Esto ha producido que el dióxido de carbono (CO₂), que estaba retenido bajo tierra, se ha liberado en cantidades enormes a la atmósfera y eso ha generado un "efecto invernadero" que ha conducido al cambio climático. Se calcula que la concentración de CO₂ en la atmósfera pasó de 280 ppm a 384 ppm desde la época preindustrial a la primera década de este siglo (Ipinza y Barros, 2011). Eso provocó un aumento de 1 °C en la temperatura media del planeta, en el mismo período; se estima que, si continúan las tendencias actuales, el calentamiento global puede alcanzar 1,5 °C entre los años 2030 y 2052 (IPCC, 2018).

Otra fuente de CO₂ que se dirige a la atmósfera es la deforestación y, con ello, la subsecuente descomposición de la materia vegetal. El carbono es uno de los principales componentes de la madera; su contenido representa un 50 % del peso de la biomasa de cada árbol (Brown y Lugo, 1982; IPCC, 1996). En la década de 1990, este proceso liberó entre 1,3 y 1,6 PgC/año (Bonan, 2008; Malhi, 2010). El tema de la deforestación tuvo una gran relevancia en la COP26 (Glasgow, 2021), los 137 países que asistieron, se comprometieron a poner fin colectivamente a la pérdida de bosques y la degradación de la tierra para el año 2030 (<https://www.wri.org/insights/what-cop26-means-forests-climate>).

Además del CO₂ existen otros gases de efecto invernadero (Greenhouse Gases - GHG) contemplados en el Protocolo de Kyoto: Metano (CH₄), Óxido Nitroso (N₂O), Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de Azufre (SF₆).

Entre las consecuencias más importantes del cambio climático están: eventos extremos de precipitación y de sequía (en ambos casos superando valores históricos), descongelamiento del "permafrost" de las zonas árticas (capa de suelo que estaba permanentemente congelada), incremento de incendios de vegetación, cambios en la fenología de las especies vegetales, cambios en la productividad agropecuaria, aumento de los huracanes y

ciclones, disminución de los glaciares, aumento del nivel del mar, acidificación del agua de mar, inundaciones en poblaciones costeras, alteración de ecosistemas (ejemplos: muerte de corales y de árboles, especies que invaden nuevos sectores), pérdidas de biodiversidad, salinización en humedales costeros (por ingreso de aguas de mar) e incremento de enfermedades tropicales (por ampliación del hábitat de organismos transmisores). Buena parte de estos impactos son irreversibles, o su efecto actuará por varios siglos, si se supera el límite de 1,5 °C de calentamiento global (IPCC, 2022a).

1.2. Mecanismos de mitigación

En 1997 se firmó el Protocolo de Kyoto, con la intención de reducir el total de emisiones de gases con efecto invernadero. En ese momento se pretendía disminuir las emisiones en más del 5 % del nivel que había en 1990, en un período de compromiso entre 2008 y el 2012, y se establecieron los siguientes mecanismos para lograr esa reducción:

- Comercio de Emisiones: “...las partes podrán participar en operaciones de comercio de los derechos de emisión a los efectos de cumplir sus compromisos...”.
- Implementación Conjunta: toda parte del Anexo I (países industrializados) podrá transferir a cualquier otra de esas partes, las unidades de reducción de emisiones, resultantes de proyectos encaminados a reducir dichas emisiones.
- Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL): el propósito de estos mecanismos es ayudar a las partes no incluidas en el Anexo I a lograr un desarrollo sostenible y contribuir a la convención, así como ayudar a las partes de dicho anexo a cumplir sus compromisos de reducción de emisiones. Las opciones contempladas para eliminar o disminuir las emisiones fueron las siguientes:
 - a. Mejoramiento en el uso de combustibles fósiles.
 - b. Eficiencia energética en la industria.
 - c. Captura de emisiones fugitivas.
 - d. Uso de energías renovables.
 - e. Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura: aumentar y conservar las reservas de CO₂ en los ecosistemas y ejecutar plantaciones forestales (posteriores a 1989).

La última opción reconoce el poder de absorción del carbono que está en la atmósfera y su fijación en la biomasa, mediante el proceso de fotosíntesis que ejecutan los árboles. En general, constituyen las llamadas "**soluciones basadas en la naturaleza**", es decir acciones para proteger, gestionar de manera sostenible y restaurar ecosistemas naturales o modificados, que aborden los desafíos sociales de manera efectiva y adaptativa, brindando simultáneamente beneficios para el bienestar humano y la biodiversidad (IPCC, 2022a).

1.3. Financiamiento

1.3.1.- Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)

También se le conoce como Clean Development Mechanism (CDM) y es el esquema de compensación de carbono más grande del mundo (Brohé, 2014). El MDL permite que los proyectos de reducción de emisiones en los países en desarrollo obtengan créditos de reducción de emisiones certificadas (Certified Emission Reduction, CER), cada uno equivalente a una tonelada de CO₂; hasta febrero de 2022, los proyectos MDL habían acreditado cerca de 2.200 millones de CER's (Figura 1.1).

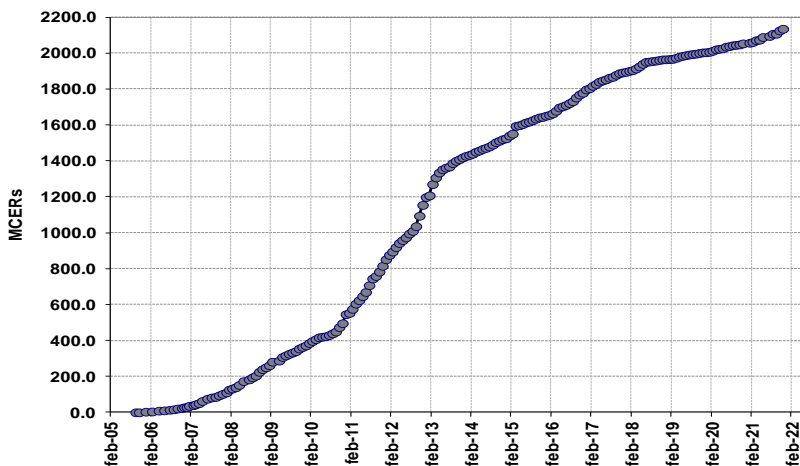


Figura 1.1. Registro acumulado de CER's, a lo largo del tiempo, para todos los proyectos MDL (<https://www.cdmpipeline.org/cdm-projects-type.htm>).

La participación de proyectos forestales en el MDL ha sido ínfima (apenas 0,4 % del total de inversiones realizadas; Figura 1.2).

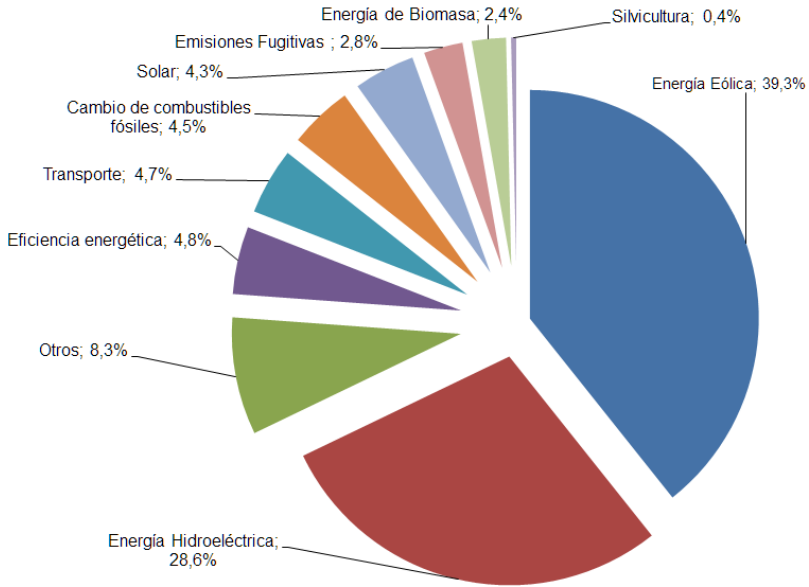


Figura 1.2. Distribución total de las inversiones por tipos de proyectos MDL (<https://www.cdmpipeline.org/cdm-projects->

Estas escasas inversiones en el sector forestal tal vez se deben a que el almacén de carbono en los árboles es temporal (CER's temporales, denominados tCER's) y que el esquema de comercio de emisiones de la Unión Europea no incluye ese tipo de proyectos. Además, las modalidades del MDL forestal se aprobaron dos años más tarde que en otros sectores, las metodologías para certificar proyectos forestales también son más complejas, requieren muchas mediciones en el terreno, puede haber conflictos por la determinación de la propiedad de las tierras y derechos de uso; estas dificultades pueden haber inducido a los inversionistas a negociar en otras tecnologías MDL con menores riesgos y costos (Chenost *et al.*, 2011).

Una opción es que "... una parte de los créditos obtenidos por el proyecto queda reservada como garantía de que las áreas cosechadas (o perdidas por alguna otra causa) serán nuevamente replantadas después de la cosecha, lo cual garantiza un beneficio permanente (o al menos de largo plazo) para la atmósfera al mantener una cobertura boscosa durante varias décadas..." (Vallejo, 2012). Pero también "el país que utilice tCER's, para demostrar el cumplimiento con sus compromisos de mitigación bajo el Protocolo de

Kyoto, está obligado a reemplazarlos después de un tiempo determinado por una reducción de emisiones ‘permanente’ – i.e., que provenga de una actividad de mitigación en un sector distinto al forestal – ... esto implica que los compradores de tCER’s asumen y pagan el riesgo de no-permanencia de los beneficios de mitigación asociados... haciéndolos menos atractivos en el mercado que los CER’s de otros sectores..." (Estrada, 2017).

El monto total invertido en los MDL alcanza a 415.343 x 10⁶ US\$. China es, con mucha ventaja (57 % del total), el país que más ha recibido fondos para estos proyectos. Pero hay otros que también se han favorecido con sumas cuantiosas y entre ellos se destacan varios países de Latinoamérica (Figura 1.3), con inversiones que van desde 4.000 (Colombia) hasta 14.000 (Brasil) millones de US\$. **Venezuela no ha desarrollado absolutamente NINGÚN proyecto MDL.**

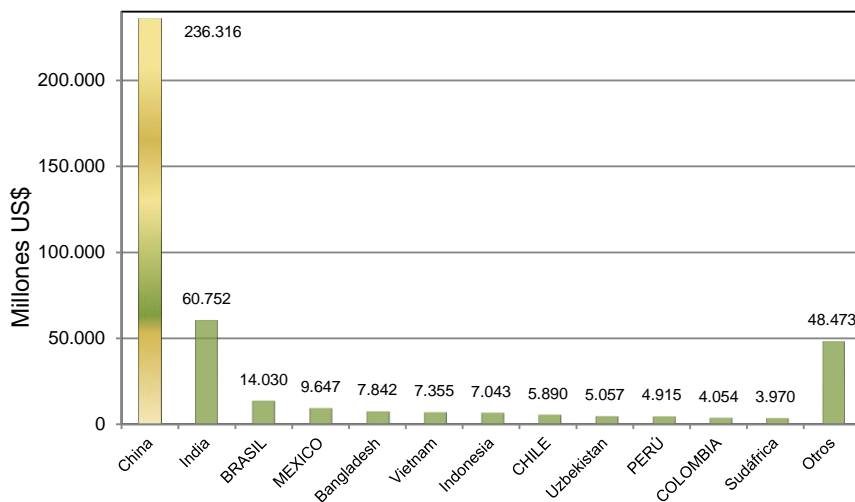


Figura 1.3. Países con mayores inversiones en proyectos MDL (<https://www.cdmpipeline.org/cdm-projects-type.htm>)

Aunque no son muy abundantes, se han logrado proyectos MDL forestales en Latinoamérica, que señalan una posibilidad futura para aumentar estas inversiones, tal y como se demuestra en los siguientes ejemplos:

- "Argos CO2 Offset Project, through reforestation activities for commercial use". Se desarrolla en Colombia para plantar 2.754 ha de **una especie exótica** (*Tectona grandis*, **teca**), con el objetivo de obtener **productos madereros** para el mercado nacional e internacional (<https://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-SUED1261416776.52/view>); la inversión prevista fue de $5,3 \times 10^6$ US\$.
- "Reforestation as Renewable Source of Wood Supplies for Industrial Use in Brazil". Es un proyecto de plantación de 11.683 ha de **eucalipto**, destinadas a producir **carbón vegetal**, para sustituir el uso de combustibles fósiles en la industria del hierro y el acero (<https://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-SUED1242052712.92/view>).
- "Reforestation, sustainable production and carbon sequestration project in José Ignacio Távara's dry forest, Piura, Peru". Son plantaciones en 8.981 ha, con especies nativas como *Prosopis pallida* (algarrobo), *Capparis scabrida* (zapote) y *Cordia lutea* (overo), con la finalidad de recuperar áreas degradadas, aprovechar frutos y madera ([https://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-SUED1245856381.67 /view](https://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-SUED1245856381.67/view)). La inversión es de $13,9 \times 10^6$ US\$.

Varios proyectos MDL todavía se están ejecutando; en teoría "el sistema sigue abierto a nuevos proyectos, pero no por mucho tiempo; y tendrían que ser aprobados posteriormente por el nuevo Comité de Supervisión" (comunicación personal de Jørgen Villy Fenhann, UNEP Copenhagen Climate Centre).

En la práctica el Mecanismo de Desarrollo Sostenible - MDS (Sustainable Development Mechanism, SDM) debería haber sustituido al MDL. Pero eso no ha ocurrido y, peor aún, la nueva organización y normativa no se han establecido; algunos países no están de acuerdo con esa denominación y prefieren llamarlo Mecanismo del Artículo 6.4 del Acuerdo de París (comunicación personal de Juan Carlos Sánchez, miembro del IPCC). Sin embargo, es muy probable que algunos aspectos del MDL sean adoptados por el MDS; por ejemplo, las actividades aceptadas, las metodologías, los estándares de acreditación y los acuerdos de gobernanza, tal y como ha sido propuesto por WWF (2018).

Para ser acreditado en el MDL el proyecto debe cumplir los criterios que se indican a continuación (Chenost *et al.*, 2011):

- ✓ Elegibilidad: debe demostrarse que el terreno no tenía bosque entre el 31/12/1989 y la fecha de inicio del proyecto.
- ✓ Adicionalidad: sólo se aceptarán las "reducciones de emisiones que se agreguen a aquellas que tuvieron lugar en ausencia de la actividad certificada".
- ✓ Escenario de Referencia: debe establecerse "un escenario que describa lo que sucedería en ausencia del proyecto".
- ✓ Fugas: "las emisiones inducidas por el proyecto fuera de sus límites deben ser contabilizadas".
- ✓ No permanencia: el carbono almacenado en un bosque o en una plantación puede ser liberado a la atmósfera, por razones antrópicas (explotación, cambio de uso de la tierra) o naturales (incendios, enfermedades). Por lo tanto, existirán créditos permanentes "ICER" (long term CER) y créditos temporales "tCER" (short term CER).
- ✓ Monitoreo: el secuestro de carbono debe ser medible y monitoreado con precisión, durante el período de acreditación (período único de 30 años o 20 años, renovable dos veces para un máximo de 60 años).
- ✓ Metodologías: la estimación del escenario de referencia (incluyendo emisiones y fugas) y establecimiento del plan de monitoreo, deben basarse en metodologías aprobadas por el MDL.

1.3.2. Fondo Mundial para el Medio Ambiente (Global Environment Facility, GEF)

Es un fondo, creado por el Banco Mundial en 1991, que tiene la finalidad de atender la protección de la biodiversidad, la restauración de la naturaleza, la reducción de la contaminación y la **respuesta al cambio climático en los países en desarrollo**. En 30 años el GEF ha aportado más de 22.000×10^6 US\$ en donaciones y financiamiento combinado y ha movilizadado otros 120.000×10^6 US\$ en cofinanciamiento para más de 5.000 proyectos nacionales y regionales, además de 27.000 iniciativas dirigidas por la comunidad a través de su programa de pequeñas donaciones. En el período 2022-2026, los donantes están aumentando las contribuciones del GEF a 5.330×10^6 US\$ (<https://www.thegef.org/>).

El GEF funciona a través de 18 agencias responsables de elaborar las

propuestas de proyectos y posteriormente gestionarlos en el terreno:

1. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)
2. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)
3. Banco Mundial
4. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)
5. Banco Interamericano de Desarrollo
6. Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial
7. Banco Asiático de Desarrollo
8. Banco Africano de Desarrollo
9. Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo
10. Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola
11. Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF)
12. Conservation International
13. CAF - Banco de Desarrollo de América Latina
14. Banco de Desarrollo de Sudáfrica
15. Oficina de Cooperación Internacional del Ministerio de Medio Ambiente de China
16. Fondo Brasileño para la Biodiversidad
17. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
18. Banco de Desarrollo del África Occidental

Los proyectos aprobados por GEF (y ejecutados) alcanzan una cifra total de 22.370×10^6 US\$. Un 29 % corresponde a **cambio climático**, 20 % a biodiversidad, un 10 % a proyectos que combinan esas dos áreas focales con la degradación de la tierra y un 41 % a otras combinaciones donde se incluyen las aguas internacionales, los productos químicos y los desechos (Figura 1.4).

Si se excluyen los proyectos ejecutados simultáneamente en varios países, los 20 que más han recibido fondos del GEF se muestran en la Figura 1.5. Allí se destacan (de Latinoamérica) Brasil, México, Colombia, Perú, Argentina y Ecuador.

Venezuela ha tenido 20 proyectos (algunos todavía en ejecución), para un total de $74,4 \times 10^6$ US\$, de los cuales 11 corresponden a biodiversidad, 4 a cambio climático, 1 a degradación de la tierra, 2 proyectos combinados y 2 actividades de habilitación (apoyo institucional).

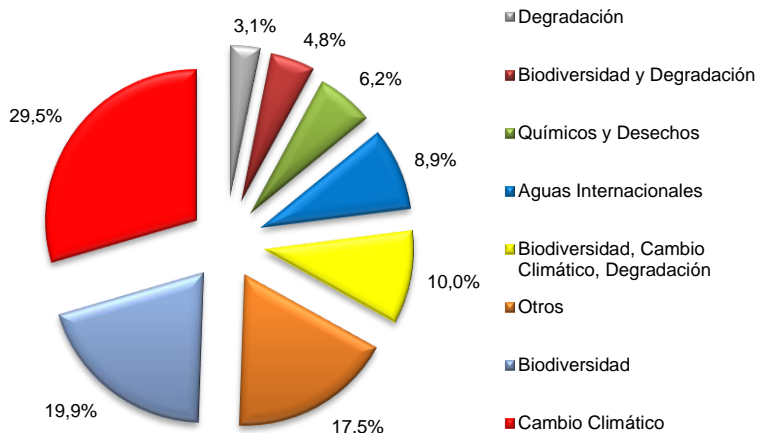


Figura 1.4. Distribución de los presupuestos aprobados por GEF (y ejecutados), de acuerdo a las distintas áreas focales. <https://www.thegef.org/projects-operations/database> (27/09/2022); se excluyen los proyectos cancelados

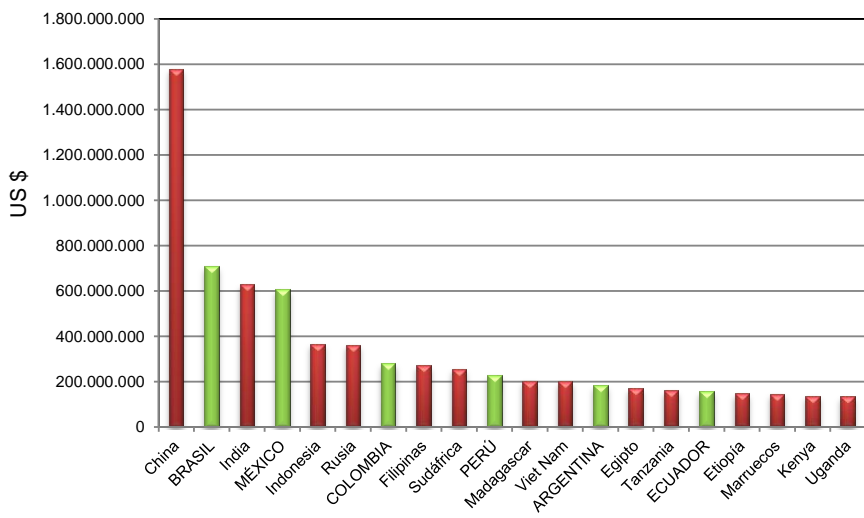


Figura 1.5. Los 20 países con mayores financiamientos recibidos, por proyectos individuales del GEF. Datos tomados de <https://www.thegef.org/projects-operations/database> (27/09/2022)

1.3.3. Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD)

Este mecanismo surgió como un complemento al MDL, que estaba muy enfocado en la forestación y reforestación. "El primer y fundamental objetivo de REDD es reducir las emisiones de dióxido de carbono por efectos de la deforestación" (Ortega *et al.*, 2010). REDD+ significó además "... conservación, manejo sostenible y aumento de existencias de carbono. En este caso se permiten actividades que eviten o reduzcan la deforestación o que aumenten las existencias de carbono en los bosques, por ejemplo mejorando los sistemas de manejo, en cuyo caso se habla de IFM (Improved Forest Management: Manejo Forestal Mejorado)..." (Vallejo, 2012).

Entre 2009 y diciembre de 2021 las Naciones Unidas han aprobado un total cercano a 342 x 10⁶ US\$ para estos proyectos (Cuadro 1.1). La ONU ha manejado directamente el 70 % de esos fondos (en muchos casos para asuntos de salud, violencia de género y derechos humanos) y el resto se ha gestionado con apenas 26 países; **Venezuela no se ha favorecido de estos proyectos.**

Cuadro 1.1. Fondos aprobados para el programa de Proyectos REDD de Naciones Unidas (2009-2021)

País/Continente	Presupuesto Aprobado (\$)	Presupuesto Aprobado (\$)
África (7)		29.161.870
Argentina	3.842.370	
Bolivia	3.375.741	
Chile	4.280.000	
Colombia	4.000.000	
Ecuador	4.000.000	
Honduras	3.609.645	
Panamá	5.300.000	
Paraguay	4.720.001	
Perú	4.065.779	
América (9)		37.193.536
Asia y Oceanía (10)		36.267.060
Naciones Unidas		239.363.588
TOTAL		341.986.054

Datos tomados de: <https://mptf.undp.org/factsheet/fund/CCF00>

Pero, hay una enorme cantidad de donantes privados para proyectos REDD y eso sí constituye una mejor opción para lograr los fondos. Simonet *et al.* (2020) muestran una base de datos de 585 proyectos, por un monto total de 4.400x10⁶ US\$, ejecutados en 1.000 x 10⁶ ha (Cuadro 1.2). En este caso

Venezuela sí aparece, pero con un proyecto cuya superficie es apenas de 27.000 ha; eso corresponde a una iniciativa privada de Masisa en sus plantaciones de Pino Caribe del oriente del país. Sorprende que países con territorios similares a Venezuela, ejemplo Colombia y Perú, han logrado proyectos con una cantidad total entre 500 y 1.700 millones de US\$ respectivamente.

Cuadro 1.2. Resumen de la base de datos internacional de programas y proyectos REDD+. Datos tomados de Simonet *et al.* (2020)

Región/País	#Proyectos	Superficie (ha)	Inversión (\$)
África	164	43.567.890	463.756.396
Asia y Oceanía	180	122.266.880	486.451.691
Argentina	3	166.573	69.993
Belize	5	29.430	209.979
Bolivia	4	838.700	10.911.814
Brasil	69	739.712.408	439.200.358
Chile	4	90.104	155.487
Colombia	54	20.644.787	498.707.838
Costa Rica	4	41.770	1.706.003
Ecuador	9	700.331	10.233.988
El Salvador	1	70.000	19.998
Guatemala	8	1.101.118	22.910.607
Honduras	2	3.100	79.992
México	20	38.594.852	753.035.889
Nicaragua	7	10.394	249.975
Panamá	5	36.714	4.599.990
Paraguay	5	71.048	9.380.994
Perú	30	69.143.996	1.695.736.498
Trinidad y Tobago	1	1.339	9.999
Uruguay	9	87.480	2.582.158
VENEZUELA	1	26.981	19.998
Total América	241	871.371.125	3.449.821.558
Total	585	1.037.205.895	4.400.029.645

En general, hasta el presente, los proyectos REDD+ no han incluido financiamiento para los bosques maduros que no están amenazados. Esos ecosistemas han sido relativamente menospreciados porque están en un aproximado equilibrio de biomasa y en eso no influye la acción directa del ser humano. Reciben financiamiento sólo cuando se demuestra que se evita su destrucción en un área determinada.

1.3.4. Mercado de emisiones

Técnicamente, la compra-venta de emisiones ya estaba contemplada desde el Protocolo de Kyoto (1997) y quedó normalizada en los acuerdos de

Marrakech (UNFCCC, 2002).

Los "bonos de carbono" se generan cuando un país o empresa desarrollan proyectos donde se reduce o se elimina el CO₂ que se podría emitir o liberar a la atmósfera, y esa disminución del CO₂ puede ser comprada por proyectos que contaminan y que desean reducir sus emisiones (Simondi, 2014).

De acuerdo a Díaz-Cruz (2016), "el mercado de carbono es el lugar donde se compran, venden y valorizan instrumentos financieros denominados certificaciones o bonos de carbono destinados a la reducción de emisión de GEI, con el propósito de que los países del Anexo I a los que hace referencia el Protocolo de Kyoto puedan cumplir con los compromisos de reducción adquiridos... El Mercado de Carbono transa tres clases de activos:

- Permisos de emisión, los cuales son asignados por los gobiernos de los países Anexo I a las empresas que emiten GEI, de acuerdo con los compromisos asumidos en el marco del Protocolo de Kyoto.
- Certificados de Reducción de Emisiones basados en proyectos, los cuales se originan en el momento en que un proyecto de mitigación se establece en un país en desarrollo o en Europa y se puede demostrar que se reducen emisiones de GEI. Dichos certificados pueden ser CER's que se obtienen en los proyectos de MDL llevados a cabo en países en desarrollo, y los certificados EURs (Emission Reduction Units) originados en los proyectos de los Mecanismos de Implementación Conjunta (MIC) en Europa.
- Certificados de Reducción de Emisiones voluntarias, son aquellos que se comercializan en los mercados de carbono voluntarios".

Queda claro que los CER's (derivados del MDL) pueden ser comercializados por los países industrializados para cumplir con una parte de sus objetivos de reducción de emisiones en virtud del Protocolo de Kyoto (<https://cdm.unfccc.int/>). Por lo tanto, los CER's forman parte de lo que se conoce como "**mercado regulado de carbono**". En el período 2008-2011 el precio de los CER's osciló entre 10 y 22 Euros (Figura 1.6). Pero, a partir de 2012 hubo un colapso del precio, cayó por debajo de 1 Euro y se estima que actualmente oscila en el rango de 1-2 Euros (Kainou, 2022).

Debido a la caída de los precios de los CER's, algunos propietarios de dichos certificados han preferido ofrecerlos fuera del mercado del Protocolo de Kyoto; en 2015, fueron transferidos a **mercados voluntarios** 1,1 millones de CER's (de proyectos en todos los sectores); algo similar ha ocurrido

cuando el sector privado ha adquirido Reducciones Verificadas de Emisiones (VER, por sus siglas en inglés) de proyectos REDD+ (Estrada, 2017). Esto son solo pequeños ejemplos de interacciones entre los distintos mercados que existen para el control de las emisiones.



Figura 1.6. Variación del precio de los CER's en el período 2008-2020 (<https://www.reuters.com/article/us-climate-change-carbon-offsets-idUSKBN2AP1FZ>)

El Sistema de Comercio Europeo (European Trading System, ETS) es el más importante en el mundo, tanto por el precio que alcanzan los bonos de carbono como por el volumen comercializado. Es un mercado regulado de acuerdo a objetivos determinados por la Unión Europea: una reducción neta de al menos el 55 % de las emisiones de gases de efecto invernadero para 2030 y alcanzar la neutralidad climática para 2050 (https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_es).

Hasta septiembre de 2020 el precio osciló entre 20 y 30 US\$/tCO₂; a partir de allí tuvo un aumento vertiginoso, llegó a tocar los 110 US\$/tCO₂ (Figura 1.7) y en febrero de 2023 está en 102,5 US\$/tCO₂.

No están claras las razones para ese incremento, pero un análisis de Bloomberg indica que para el año 2050 el precio puede oscilar entre un mínimo de 47 y un máximo de 120 US\$/tCO₂ (10/01/2022, <https://about.bnef.com/blog/carbon-offset-prices-could-increase-fifty-fold->

by-2050).

En el ETS no se cotizan los proyectos forestales (Chenost *et al.*, 2011; European Commission, 2021; Shrestha *et al.*, 2022). Por lo tanto, no se pueden hacer proyecciones de rentabilidad en proyectos forestales, orientados a la mitigación del cambio climático, tomando como referencia los precios de ese sistema. En Europa se negocian créditos de carbono de proyectos forestales, pero atendiendo a precios que corresponden a mercados nacionales o tendencias de transacciones entre varios actores, que incluyen proyectos en Latinoamérica; obviamente, los precios son muchos más bajos de lo que indica el ETS.



Figura 1.7. Valor de los bonos de carbono (US\$/tCO₂), en la bolsa europea (European Trading System); mayo de 2019 hasta febrero de 2023. Fuente: <https://carboncredits.com/carbon-prices-today/>

Por otra parte, los "mercados voluntarios" son esquemas donde organizaciones públicas, privadas o ciudadanos pueden adquirir créditos participando como financiadores de proyectos que absorben y capturan gases de efecto invernadero.

La Bolsa Mercantil de Chicago (Chicago Mercantile Exchange, CME Group) ofrece unos instrumentos a futuro de la empresa CBL, de

compensación de emisiones globales basadas en la naturaleza (CBL Nature-Based Global Emissions Offset, N-GEO); es un mercado voluntario que permite a las empresas una forma sencilla de cumplir con los objetivos de reducción de emisiones, **utilizando exclusivamente compensaciones provenientes de proyectos de agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra** (<https://www.cmegroup.com/markets/energy/emissions/cbl-nature-based-global-emissions-offset.html>). Ese mercado de créditos de carbono, se inició en agosto de 2021 con un precio cercano a 5,3 US\$/tCO₂, en enero de 2022 llegó a un valor máximo de 15,9 y para febrero de 2023 está en 2,4 US\$/tCO₂ (Figura 1.8). Estos precios deben aumentar y para el futuro se podría estimar un precio promedio entre 5 y 10 US\$/tCO₂.

Las transacciones del mercado voluntario también se pueden realizar mediante el sistema “over the counter” (OTC), es decir, "operaciones directas efectuadas entre dos partes mediante un intermediario financiero o broker" (Díaz-Cruz, 2016).



Figura 1.8. Precios del mercado de compensación de carbono basada en la naturaleza (<https://carboncredits.com/carbon-prices-today/>)

En el mercado voluntario, los proyectos deben ser certificados de acuerdo a algunos estándares; algunos de los más importantes son los siguientes (Chenost *et al.*, 2011):

- VCS (Voluntary Carbon Standard). Es manejado por la organización Verra y "propone soluciones para resolver los problemas de no permanencia a través de la puesta en reserva de una parte de los créditos generados por el proyecto". Es el sistema más utilizado en el mundo.
- CCBs (Climate Community & Biodiversity Standard). Se destina exclusivamente a proyectos forestales y pone énfasis "en los beneficios sociales y ambientales asociados a los proyectos". También es manejado por Verra.
- Gold Standard. La certificación implica que el proyecto no emplea mecanismos de ayuda por parte de los gobiernos o de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), con la finalidad de que los créditos generados sean transferidos al país donante. Tampoco puede buscar otras certificaciones para evitar la doble contabilidad de los créditos. Hace mucho énfasis en que existan beneficios tangibles en lo económico, ambiental y social, para la población local, y que se cumplan al menos tres (3) Objetivos del Desarrollo Sostenible.
- Plan Vivo. Se aplica a proyectos de forestación, sector agroforestal, conservación de los bosques, restauración y deforestación evitada, ejecutados por pequeños propietarios o comunidades, en los países en desarrollo.

Los sistemas de certificación incluyen organismos de validación/verificación. Estos son **auditores externos independientes** que determinan en el terreno si un proyecto cumple un estándar cualquiera, luego lo envían para el registro correspondiente y finalmente confirman que los resultados se han logrado y cuantificado de acuerdo con el estándar. Algunas de las empresas más importantes que desempeñan esta labor son: 4K Earth Science Private Limited, AENOR International S.A.U., Carbon Check (India) Private Ltd., China Certification Center, Inc (CCCI), Colombian Institute for Technical Standards and Certification (ICONTEC), SCS Global Services (<https://verra.org/validation-verification/>).

1.4. Resultados de los esfuerzos de mitigación.

A pesar de los cientos de miles de millones de dólares que se han invertido, en diferentes mecanismos de mitigación del cambio climático, objetivamente hay que reconocer que **no se han alcanzado las metas**. Los resultados no son nada promisorios. No se ha logrado una efectiva reducción

de las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera (Figura 1.9); está ocurriendo lo contrario, cada año las emisiones aumentan y en 2019 llegaron a 59 Gt. Por ejemplo, se interpreta que en 2009 hubo una temporal y ligera disminución atribuida a la recesión económica mundial (<https://es.statista.com/estadisticas/635894/emisiones-mundiales-de-dioxido-de-carbono/>); eso se repitió en 2015 debido a situaciones transitorias en que se usó menos carbón en USA y China, sustituido por gas natural, energía hidráulica y eólica (https://elpais.com/internacional/2016/03/16/actualidad/1458126802_283776.html).

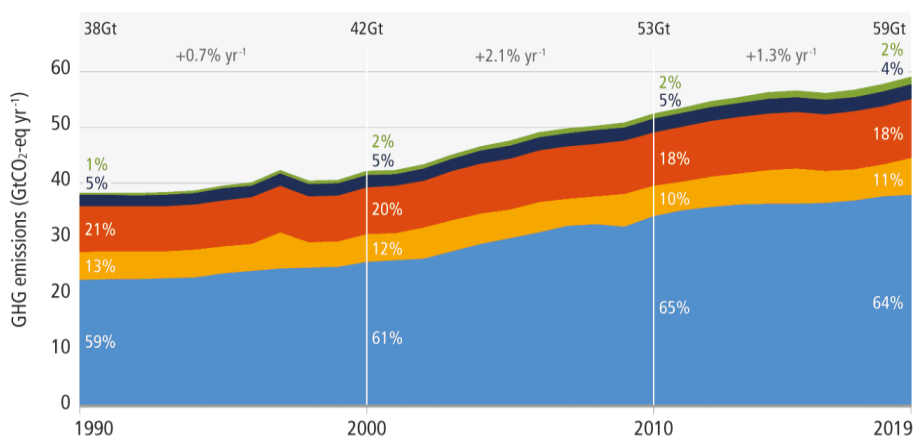


Figura 1.9. Emisiones globales de gases de efecto invernadero (IPCC, 2022b)

En correspondencia, **la concentración de CO₂ en la atmósfera también ha aumentado** (Figura 1.10) **y lo mismo ocurre con la temperatura** (Figura 1.11). Las tendencias actuales indican que en 2040 se alcanzará la barrera de aumento de temperatura de 1,5 °C; eso sólo podría revertirse si disminuyen las tasas de emisión de CO₂ y se alcanza una emisión neta cero en 2050. Esa disminución no está ocurriendo. **No hay forma IRREFUTABLE de demostrar éxito en la lucha contra el cambio climático.**

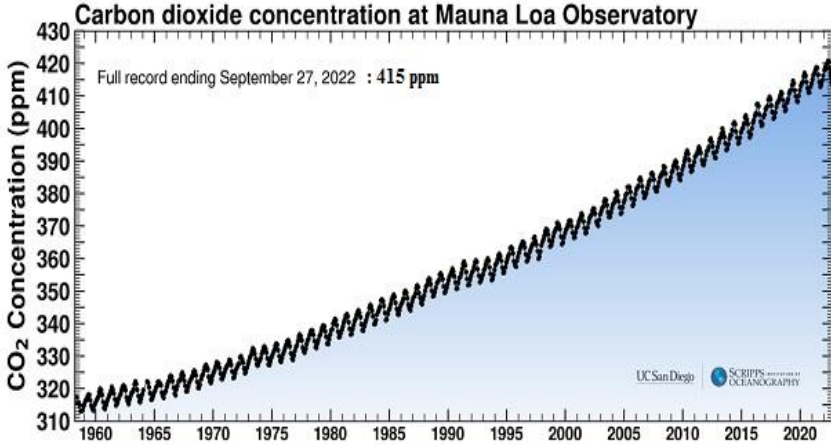


Figura 1.10. Aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera (Scripps Institution of Oceanography; <https://keelingcurve.ucsd.edu/>)

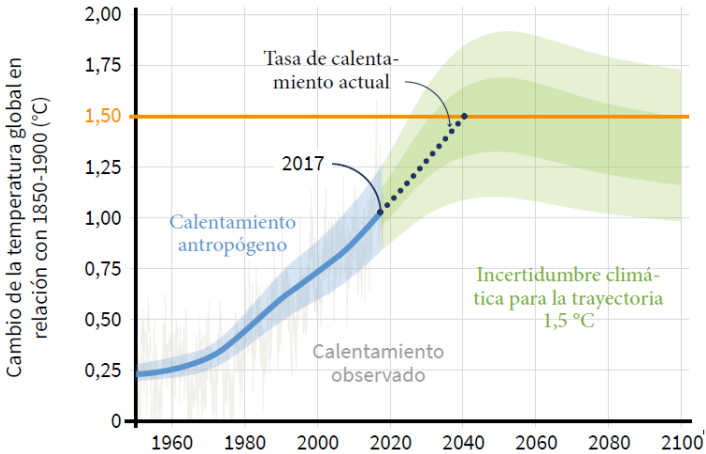


Figura 1.11. Cambio en la temperatura superficial global (IPCC, 2018)

Un reconocimiento de la falta de efectividad de las medidas es que los proyectos MDL han cubierto menos del 6 % de las emisiones de cada país en todo el mundo (Figura 1.12). Debe recordarse que ese mecanismo ha sido manejado directamente por las Naciones Unidas y hasta el presente ha gastado más de 415.000 x 10⁶ US\$.

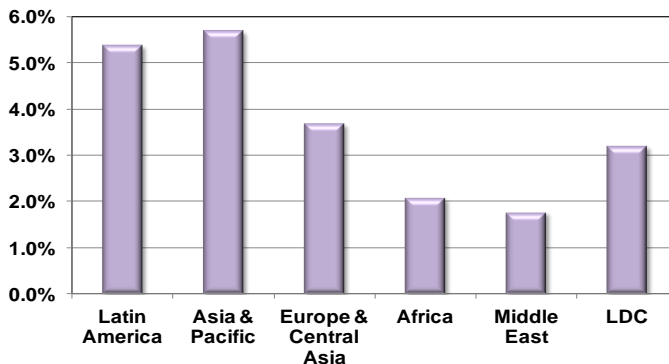


Figura 1.12. Porcentaje de emisiones de país cubierto por CER's estimados. Esta figura aparece ya elaborada en la página oficial del Mecanismo de Desarrollo Limpio (<https://www.cdmpipeline.org/cdm-projects-type.htm>).

Podría decirse que el fracaso de la mitigación del cambio climático fue admitido por el Sr. António Guterres (Secretario General de la ONU) cuando indicó que "... debe ser la prioridad de todos los gobiernos y organizaciones. Sin embargo, está siendo relegada a un segundo plano, a pesar del abrumador apoyo de la opinión pública... **Estamos abocados a un desastre climático...** Lo estamos viendo por doquier... Los veranos más tórridos de hoy pueden ser los más frescos el día de mañana. Perturbaciones climáticas que acontecen una vez en la vida se pueden convertir pronto en fenómenos que suceden una vez al año... Hay que exigir responsabilidades a las empresas de combustibles fósiles y a quienes promueven sus intereses: bancos, fondos de capital privado, gestores de activos y otras instituciones financieras que siguen invirtiendo y avalando la contaminación por carbono..." (20/09/2022; <https://news.un.org/es/story/2022/09/1514781>).

¿Por qué ha ocurrido todo esto? La respuesta es compleja y multifactorial. Sin pretender simplificar el asunto, a continuación se anotan algunos elementos que explican esta situación. Pero debe acotarse que es muy difícil satisfacer a todos los actores.

Muchos se ubican en el Paradigma de la **Ecología Profunda** que propone detener el desarrollo y regresar a formas de vida indígenas con un mínimo uso de recursos; plantean una rápida eliminación del uso de combustibles fósiles, pero también se han dedicado a identificar y resaltar exhaustivamente todo tipo de inconvenientes que puedan tener las

plantaciones forestales y las energías alternativas como la hidráulica, la eólica y la bioenergía. Además, se oponen a todos los mecanismos de asignación de valor monetario a los ecosistemas, sus servicios y los problemas de contaminación; a todo ello le atribuyen nombres desdeñosos como capitalismo verde o mercantilización de la naturaleza. Gilbertson y Reyes (2010) ofrecen un extenso análisis de todos estos aspectos.

Otros defienden la **Visión Capitalista**, donde el crecimiento económico (medido con parámetros financieros) es sinónimo de bienestar. En este paradigma existe una defensa a ultranza de la actividad empresarial. Este sector ha transformado el problema del cambio climático en un asunto comercial; la emisión de CO₂ tiene un valor que se somete a mecanismos de compra-venta. De hecho ya se considera un "commodity" y se cotiza en la bolsa igual que el hierro y el café.

Parece que **la extrema comercialización del cambio climático es una de las principales razones del deficiente desempeño de los mecanismos de mitigación**. De hecho se considera que el comercio de emisiones es "...uno de los mayores mercados emergentes en el mundo... podrían muy bien llevar a una nueva 'burbuja' cuya explosión podría tener resultados desastrosos... **las 'reducciones' sobre el papel** pueden tener muy poco que ver con los cambios en las prácticas industriales o en la producción de energía necesarios para una acción climática significativa..." (Gilbertson y Reyes, 2010). "La mercantilización de los recursos naturales responde a unos intereses particulares por parte de los dueños de los grandes capitales que ven en el mercado de carbono la facilidad para seguir contaminando y para otros la oportunidad de hacer un negocio muy rentable por el mismo carácter especulativo que tiene todo sistema financiero... los bonos de carbono por sí mismos no contribuyen con soluciones reales, sino que por el contrario, la crisis climática se ha convertido en un negocio financiero... La recomendación que se sugiere está relacionada con la necesidad apremiante de construir un sistema regulatorio efectivo que evite que los propósitos de mitigar los efectos adversos del cambio climático se conviertan en un negocio donde unos pocos se lucren y vean crecer aceleradamente sus capitales" (Díaz-Cruz, 2016).

WWF (2018) ha propuesto que después de 2020 los CER's no deben usarse en el país en el que se generaron para cumplir con la contribución determinada a nivel nacional (NDC) de ese país y los créditos del MDL no pueden transferirse a otro país o a actores no estatales, para su uso hacia el cumplimiento de una NDC u otro propósito de mitigación. Se interpreta que

esa propuesta de WWF significa la eliminación de los CER's, por lo que el MDL (que en realidad debe pasar a ser el MDS) quedaría como un sistema de financiamiento de proyectos de mitigación, bajo la forma de donaciones o de créditos blandos. Se reitera, los CER's deben desaparecer y los proyectos ejecutados no deberían generar ningún instrumento comercializable (relacionado con los GHG's).

En el presente documento no se plantea la eliminación de los bonos o de los créditos de carbono. La razón es muy simple: se reconoce la libertad de comercio y de iniciativas privadas. Pero esta "reducción artificial" (comprada "ex-situ") no debería ser incluida en los inventarios nacionales de emisiones. Esos mecanismos de comercialización deberían quedar sólo para la publicidad e imagen de las empresas o para obtener fondos que permitan financiar algunas operaciones.

El erróneo camino seguido hasta el presente requiere ajustes. **Debe haber una reducción efectiva del consumo de combustibles fósiles y de las tasas de deforestación. Pero, los datos indican que el mundo se niega a disminuir el consumo de petróleo** (Figura 1.13). Es innegable que "no hay bastante 'espacio' en los sistemas biológicos y geológicos de la superficie terrestre para guardar la enorme masa de carbono que está saliendo del suelo sin que el dióxido de carbono se vaya concentrando peligrosamente en el aire y los mares. Dicho de otro modo: la mayor parte del carbón, **el petróleo y el gas que aún está sin explotar se tendrá que quedar bajo tierra**" (Gilbertson y Reyes, 2010).

La Unión Europea ha reconocido que se deben realizar verdaderos esfuerzos para disminuir las emisiones, han establecido varias áreas estratégicas de trabajo para lograr un 80-100 % de reducción de emisiones en 2050 comparado con 1990, y así alcanzar el estatus de emisión neta cero (European Commission, 2019).

También Repsol (2020), una importante empresa petroquímica y de energía, se ha comprometido con una reducción de 25 % en 2030, 50 % en 2040 y alcanzar una emisión neta cero en 2050. Para ello, además de proyectos de reforestación, contemplan inversiones como las siguientes: 188 millones € en una planta de HVO ("Hydrotreated Vegetable Oil", combustible alternativo obtenido de aceites y grasas domésticas usadas), 70 millones € para la generación de biogás a partir de residuos urbanos y 60 millones € para la producción de combustibles a partir de hidrógeno renovable.

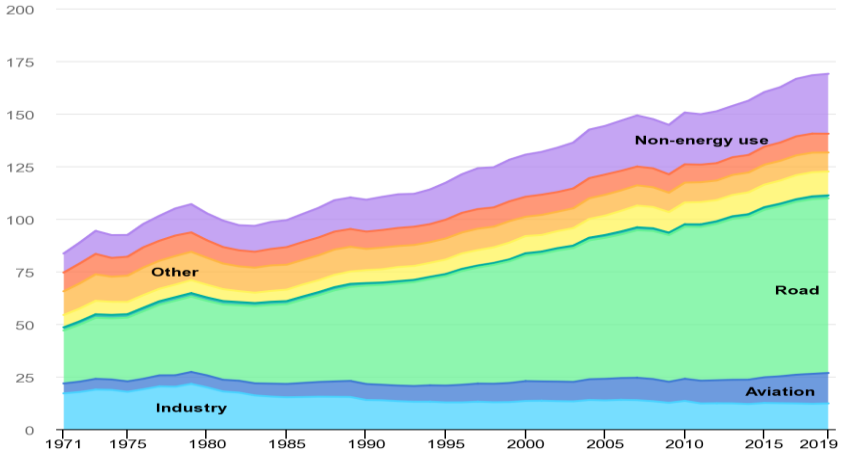


Figura 1.13. Consumo mundial de petróleo. Las unidades del eje Y son exajoules (1 exajoule = $163,5 \times 10^6$ barriles de petróleo equivalentes). Fuente: International Energy Agency (<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/oil-total-final-consumption-by-sector-1971-2019>)

La **emisión neta cero** significa "recortar las emisiones de gases de efecto invernadero hasta dejarlas lo más cerca posible de emisiones nulas, con algunas emisiones residuales que sean reabsorbidas desde la atmósfera mediante, por ejemplo, el océano y los bosques". Pero, nuevamente, si las tendencias actuales continúan ese objetivo no se alcanzará y para 2030 ocurrirá un aumento de casi 11 % con respecto a las emisiones de 2010; eso hace necesario un mayor y efectivo compromiso por parte de los gobiernos, empresas e instituciones (Naciones Unidas, s/f).

2. SITUACION DE VENEZUELA EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMATICO

2.1. Recursos forestales

Venezuela posee una considerable extensión de territorio cubierta por bosques naturales. Pero esa superficie ha venido disminuyendo (Cuadro 2.1). En 1960 hubo tal vez la mayor cobertura histórica en ecosistemas forestales; desde esa época hasta 2020 se han destruido más de 21 millones de ha de bosques.

Con 287.000 ha/año, en la década 1990-2000, la tasa de deforestación de

Venezuela era la décima más alta del mundo; en la última década disminuyó a 127.000 ha/año y ahora hay muchos países latinoamericanos con tasas de deforestación superiores (Cuadro 2.2). Es interesante observar que los reportes de FAO se hacen con la información oficial que envía cada nación. Esto es importante porque, basado en cálculos de Global Forest Watch, Clima21 (2022) señala que la tasa de deforestación 2001-2020 es 111.270 ha/año; eso es inferior al promedio que indica FAO para el período 2000-2020: 146.000 ha/año.

Cuadro 2.1. Cobertura de bosques en Venezuela, en diferentes años representativos

Año	Superficie de bosques	Porcentaje (%)	Fuente	Pérdida (ha)
1960	67.414.000	74	Pacheco <i>et. al.</i>	-
2006	49.919.000	55	Pacheco <i>et al.</i>	17.495.000
2020	46.231.000	51	FAO, 2021	3.688.000
Período 1960-2020				21.183.000

Cuadro 2.2. Tasas de deforestación (ha/año) en algunos países de Latinoamérica. Datos tomados de FAO (2021)

País	1990-2000	2000-2010	2010-2020
Argentina	182.600	316.400	164.100
Bolivia	270.300	201.500	225.200
Brasil	3.780.900	3.950.800	1.496.100
Chile	57.100	90.800	148.500
Colombia	222.300	192.800	166.600
Ecuador	90.200	70.200	53.000
Perú	115.100	124.800	171.900
Venezuela	287.500	164.600	127.400

¿Por qué ha disminuido la tasa de deforestación en la última década?, ¿será que ahora hay un comportamiento más ambientalista? Seguro que esa no es la razón; la explicación más factible es que **la principal causa de deforestación son las actividades agropecuarias y ya no hay más tierras disponibles para los campesinos en los llanos al norte del Orinoco**; ya se destruyeron los bosques de tierras bajas de la cuenca del Lago de Maracaibo, llanos occidentales, centrales y orientales, ahora los campesinos deben ir a zonas de altas pendientes en media y alta montaña y a las tierras de Guayana (Figura 2.1). En los dos últimos casos, son terrenos más inaccesibles, más difíciles de trabajar, con menor fertilidad y productividad. Aún con todas esas limitaciones, allí están los frentes actuales de la deforestación en Venezuela.

De acuerdo a los rangos que se indican en el Cuadro 2.3, podría señalarse que los bosques de Venezuela tienen una biomasa promedio de 217,8 t/ha. Ya se ha determinado que, en general, el carbono representa un 50 % de la biomasa (Brown & Lugo, 1982; Houghton *et al.*, 1997) y la equivalencia de masa de la molécula de CO₂ con respecto al átomo de carbono es 44/12 (Federici, 2015). Por lo tanto, **los ecosistemas forestales de Venezuela pueden tener un promedio de 399,2 t/ha de CO₂e** (CO₂ equivalente), en los elementos vivos superficiales. En el suelo hay cantidades importantes de CO₂ almacenado, pero no existe información suficiente sobre ese aspecto.

COMPARACIÓN DE LA COBERTURA DE BOSQUES EN VENEZUELA, 1960 - 2010

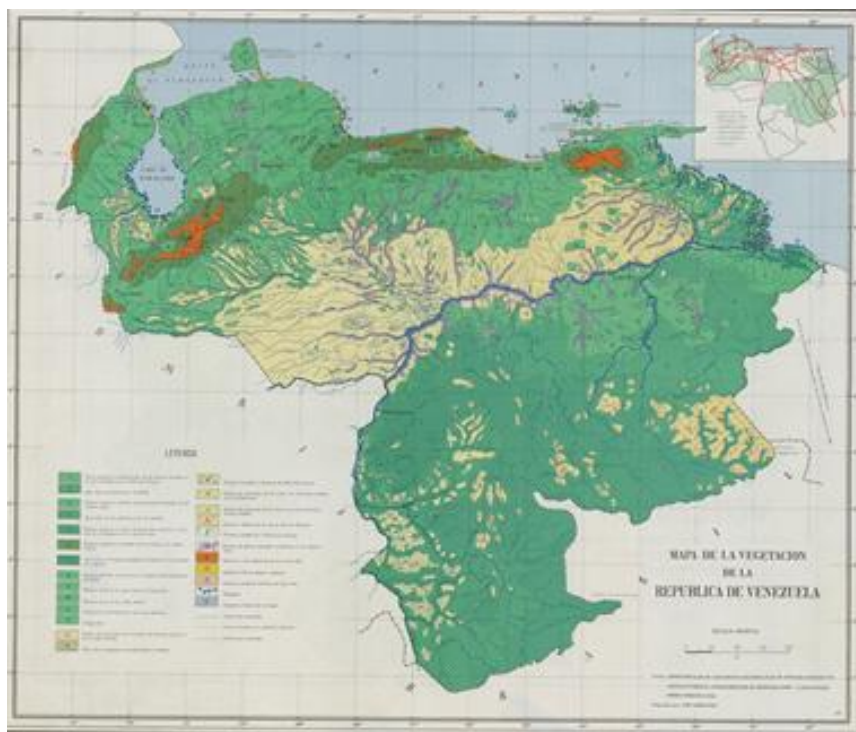


Figura 2.1. a. Hueck (1960).

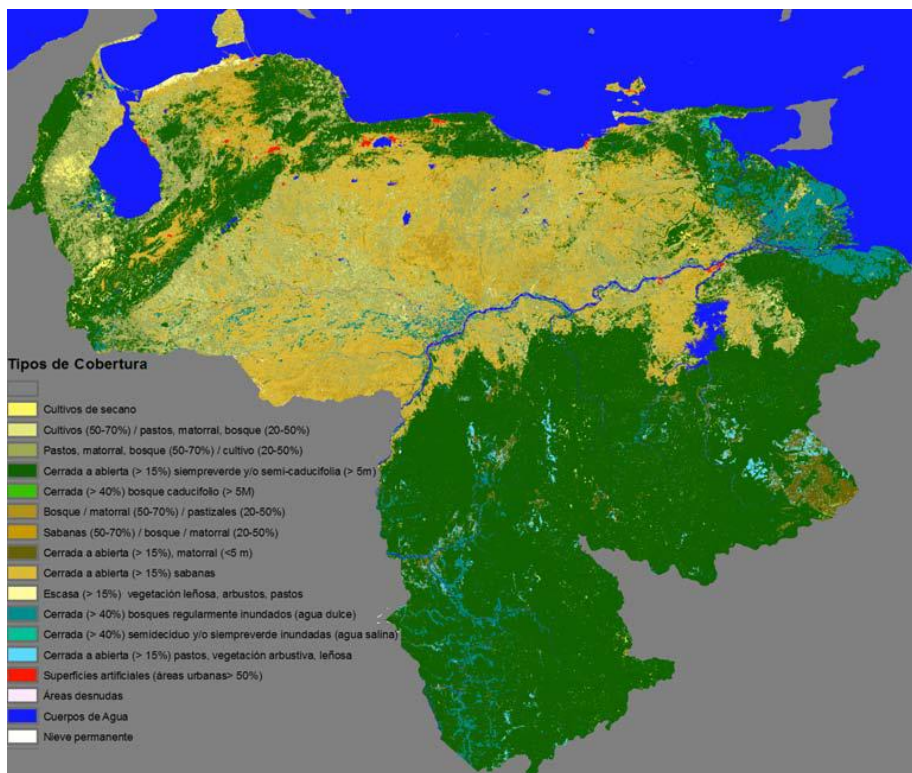


Figura 2.1. b. Adaptado de Bontemps *et al.* (2010), por Pacheco *et al.* (2011)

Cuadro 2.3. Biomasa en diferentes Zonas de Vida de Venezuela (adaptado de Bello, 1996)

Zona de Vida	Ubicación	Biomasa (t/ha)	tCO ₂ /ha (promedio)
Bosque Espinoso Tropical	Cerro El Malecón, Falcón	18-20	34,8
Bosque Muy Seco Tropical	Cerro El Coco, Anzoátegui	110-145	233,8
Bosque Seco Tropical	Caimital, Barinas	147-228	343,8
Bosque Seco Tropical	Ticoporo, Barinas	133-149	258,5
Bosque Seco Tropical	Río Grande, Bolívar	327-379	647,2
Bosque Húmedo Tropical	Km 88, Bolívar	313-405	658,2
Bosque Húmedo Montano Bajo	San Eusebio, Mérida	227-293	476,7
Bosque Húmedo Montano	La Mucuy, Mérida	272-318	540,8
Promedio		217,8	399,2

2.2. Emisiones

Venezuela está en el puesto número 30 en cuanto a emisiones totales. Pero, con casi 11 t/año/persona, Venezuela tuvo en 2019 las emisiones per cápita de CO₂ más altas de toda Latinoamérica, también superiores al promedio mundial (6,5 tCO₂e/persona) y a las de países desarrollados como Japón, Alemania, Francia y Suiza (Figura 2.2).

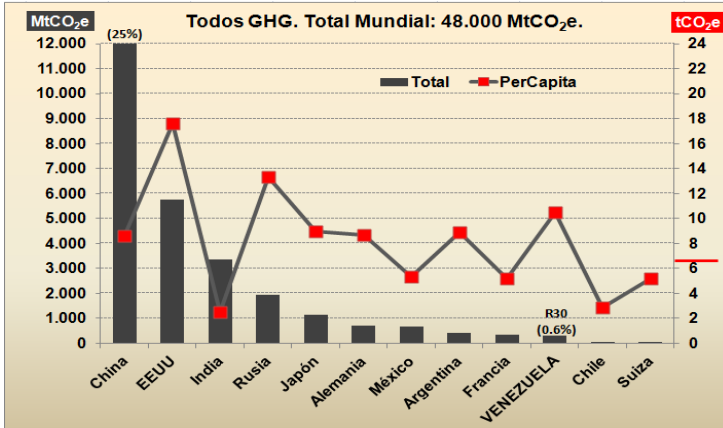


Figura 2.2. Emisiones de gases de efecto invernadero en 2019. Datos tomados de World Resources Institute (<https://www.climatewatchdata.org>)

Los valores del período 2010-2019 (Figura 2.3) indican que el total de emisiones de GHG alcanzaron un máximo entre 2012 y 2014, con un valor cercano a 500×10^6 t, y luego ha ocurrido un evidente descenso, **llegando en 2019 a 300×10^6 t.**

Nuevamente, ¿esa reducción se debe a un comportamiento más ambientalista? Definitivamente no. Esa disminución en las emisiones se debe al colapso de la producción petrolera, de la consecuente reducción en el consumo de combustibles y del desplome de las actividades industriales y comerciales en el país. Por lo tanto, al ocurrir una recuperación seguramente vendrá un ascenso en dichas emisiones. Las emisiones por agricultura, silvicultura y cambio de uso de la tierra (AFOLU) continúan en el segundo lugar. Y, es muy lamentable que las emisiones fugitivas tengan aportes tan elevados (primer lugar); eso incluye la quema de gases residuales en las refinерías, producción de metano al usar gas natural y otros gases cuando se incineran los residuos sólidos; muchos de esos problemas ya tienen soluciones tecnológicas en los países desarrollados y en los productores de petróleo.

Es muy difícil verificar estos datos con fuentes de información nacionales. Venezuela simplemente no está haciendo un seguimiento continuo a las emisiones. La Segunda Comunicación sobre cambio climático (GEF, PNUD, IFLA, MINEA, 2017), que es la más reciente, reporta datos de siete años antes! De acuerdo a ese informe, en 2010 las emisiones totales de Venezuela fueron $243,4 \times 10^6$ tCO₂ para todos los GHG. Lo que se muestra en la Figura 2.3 indica que en ese año fue 85 % más alta!

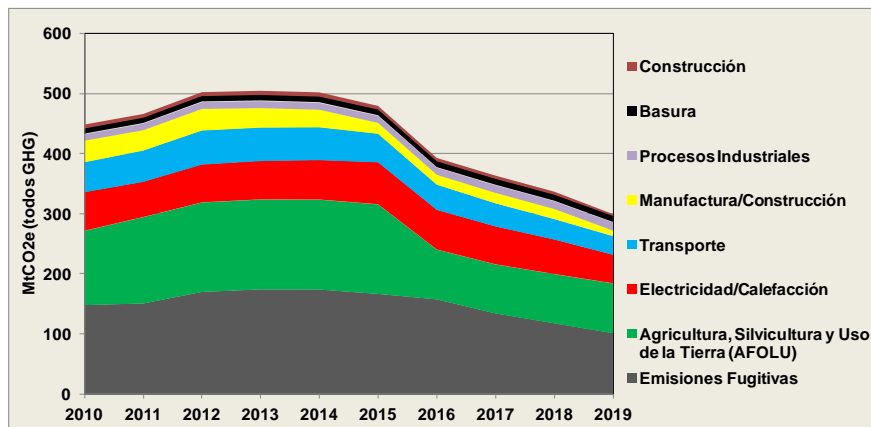


Figura 2.3. Emisiones de gases de efecto invernadero en Venezuela, de acuerdo a las diferentes fuentes. Datos tomados de World Resources Institute - WRI (www.climatewatchdata.org/)

¿Cuáles datos son los más confiables? La Contribución Nacionalmente Determinada indica que las emisiones son 240×10^6 tCO₂/año (República Bolivariana de Venezuela, 2021); no informa la fuente de ese dato ni el año de emisión; se asume que eso ocurrió en 2020 y el dato podría ser real; es ligeramente inferior al de 2019 debido a la pandemia.

Se hizo una comprobación con datos de FAO (<https://www.fao.org/faostat/>), lo cual se muestra en el Cuadro 2.4, con valores de emisión para las actividades AFOLU en dos años cualquiera. Esos resultados indican que, sólo para esas actividades, **los valores son muy similares**. Sin embargo, **puede ser que los valores reales sean un poco más elevados**; para 2010 y 2019 las emisiones globales son respectivamente 53 y 59 GtCO₂e de acuerdo al IPCC (2022b) que es la institución líder en el mundo en estos asuntos; para esos mismos años los datos de WRI (obtenidos de

www.climatewatchdata.org/) son 43 y 48 GtCO₂eq respectivamente. Como el IPCC no presenta información detallada de cada país, **en este documento se considera que los valores de WRI son confiables y se toma el año 2019 como ejemplo del mínimo de emisiones que deben ser mitigadas.**

Cuadro 2.4. Comparación de datos de emisiones de actividades AFOLU, de acuerdo a datos de FAO y de WRI (valores expresados en MtCO₂eq)

Año	FAO	WRI
2010	124,84	123,21
2019	84,65	82,77

2.3. Posición oficial sobre el financiamiento a la mitigación del cambio climático.

La participación de Venezuela en los mecanismos de financiamiento para combatir el cambio climático ha sido ínfima. Eso significa que no solo se están perdiendo oportunidades de obtener fondos para recuperar la cobertura forestal y proteger los ecosistemas, sino también que la actuación efectiva del país para mitigar o reducir ese problema global ha sido muy reducida. ¿Por qué ha ocurrido eso? **La Estrategia Nacional para la Conservación de la Diversidad Biológica (MPPA, 2010) rechaza opciones foráneas para lograr recursos debido a que "también lo ecológico está siendo mercantilizado y globalizado, en forma de capitalismo verde";** tal vez eso ha definido la posición tradicional del Gobierno de Venezuela ante las alternativas de asistencia que se mencionaron antes.

Pero, en septiembre de 2021, el gobierno anunció la creación de un Comité Nacional del Fondo Verde para el Clima, coordinado por el Ministro de Ecosocialismo (Decreto N° 4.586 del 21/09/2021, Gaceta Oficial No. 42.246); su primera atribución es "Asesorar al Presidente de la República sobre la forma de inversión de los recursos provenientes del Fondo Verde para el Clima" (<http://www.minec.gob.ve/ministro-josue-lorca-designado-autoridad-nacional-ante-el-fondo-verde-del-clima/>). Es evidente que esto es un cambio radical en la posición de Venezuela sobre este tema y ahora parece haber un gran interés en los fondos internacionales que tienen como objetivo mitigar el cambio climático.

Aunque es algo tardío, ese decreto debe significar el inicio de acciones eficientes para combatir el cambio climático. Los primeros pasos deberían incluir la redacción de una política nacional, leyes sobre la materia (eso ya se

está haciendo, sin que la política esté elaborada) y el nombramiento de autoridades específicas que se exigen en cada uno de los mecanismos de financiamiento. En todo caso, se hizo la Contribución Nacionalmente Determinada (República Bolivariana de Venezuela, 2021) y allí "ratifica su compromiso en reducir sus emisiones de GEI en un 20 % al año 2030"; uno de los aspectos que destaca ese documento es el efecto de las "Medidas Coercitivas Unilaterales ... traducidas en sanciones económicas, embargos, bloqueos... van en contra a lo establecido en el Acuerdo de París ... disminuyen la capacidad y efectividad ... para la adaptación a los efectos adversos del Cambio Climático"; también contempla una plantación forestal de 155.000 ha entre 2022 y 2030, pero no informa cuál es su meta de compensación de emisiones.

Parece difícil que el país logre éxito en la lucha contra el cambio climático (y en otros aspectos de la vida nacional) si continúa la crisis política, socio-económica y la corrupción actual, que ha generado la migración de más de 6 millones de venezolanos a otros países (<https://www.acnur.org/>); eso incluye la pérdida de recursos humanos de alta capacidad que se requieren para ejecutar esos proyectos. Tan solo en marzo de 2023, la mayor parte de los medios de comunicación informaron sobre la pérdida de varios miles de millones de dólares de la industria petrolera venezolana.

3. VISIÓN PROSPECTIVA

3.1. Aspectos preliminares

A pesar del escenario pesimista expuesto en el punto 1.4 de este documento, la opción del país no puede ser "no hacer nada". Se espera que en el contexto internacional se hagan los ajustes necesarios para que las tendencias actuales sean corregidas y Venezuela debe hacer lo propio para reducir y mitigar sus emisiones de gases con efecto invernadero.

Las estrategias de planificación del desarrollo del país escapan a los objetivos de este trabajo; eso amerita un análisis por separado de la controversia entre generar divisas (de recursos petroleros) y proteger el planeta. Lo que está en juego es la vida misma, de todas las especies y la supervivencia del ser humano. Venezuela no está exenta de los impactos del cambio climático; todo lo contrario, es altamente vulnerable. Además, deberá

considerarse que existe una creciente tendencia a la "acreditación en el sector energético, ya que las energías renovables se están convirtiendo en algo habitual debido a la evolución de las políticas de apoyo y a la creciente competitividad de los costes de las tecnologías con bajas emisiones de carbono" (Sullivan *et al.*, 2021).

El Artículo 4 del Acuerdo de París dice textualmente "alcanzar un equilibrio entre las emisiones antropógenas por las fuentes y la absorción antropógena por los sumideros, en la segunda mitad del siglo" (UNFCCC, 2015); esa es otra forma de definir las "emisiones netas cero". Ese acuerdo fue ratificado por Venezuela en 2017 (<https://mppre.gob.ve/2017/07/24/venezuela-ratifica-apego-al-acuerdo-de-paris-sobre-el-cambio-climatico-y-al-convenio-de-estocolmo/>). También fue revalidado por las naciones asistentes a la COP 26 efectuada en Glasgow (Escocia) en 2021; en esa convención, la Unión Europea, Brasil y USA se comprometieron con alcanzar cero emisiones en 2050, Turquía en 2053, China en 2060 e India en 2070 (<https://www.undp.org/blog/net-zero-future-looms-larger-after-cop26-%E2%80%93-how-do-we-get-there-time>).

Si se cumplen esos acuerdos, prácticamente significará el fin de la era petrolera para después de 2050, puesto que no existe tecnología actual para absorber la misma cantidad de carbono que se libera por el uso de combustibles fósiles. Por lo tanto, Venezuela no puede seguir planificando su futuro de largo plazo con base en una alta dependencia del petróleo, cuando la mayoría de los países consumidores ya están proyectando sustituir los combustibles fósiles por energías no contaminantes y los principales países exportadores de petróleo (árabes) ya están buscando fuentes alternativas de ingresos (ejemplo: turismo). Las tendencias actuales indican que tal vez se cumplirá la predicción del Sheik Yamani: **“La edad de piedra no terminó cuando se acabaron las piedras, así mismo la era del petróleo no se acabará cuando se nos acabe el petróleo”** (Castro López, 2016).

Por otra parte, está claro que hay una gran cantidad de fondos disponibles para la mitigación del cambio climático. En la COP 21, realizada en París en 2015, se mencionó la posibilidad de llevar el Fondo Verde del Clima (Green Climate Fund) a un total de 100 millardos US\$/año durante el período 2020-2025 (https://elpais.com/internacional/2015/11/23/actualidad/1448279779_808577.html).

Por lo tanto, es un deber y una responsabilidad acudir a esos fondos, no

sólo para mitigar el cambio climático, sino también para obtener beneficios vinculados a la protección de los ecosistemas, la creación de cobertura forestal y otras utilidades socioeconómicas.

3.2. Objetivos del Plan

Objetivo General:

- Mantener y ampliar las reservas de CO₂ en los bosques naturales y plantaciones forestales.

Objetivos Específicos:

- Contribuir a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero de Venezuela.
- Las actividades de gestión de bosques naturales y establecimiento de plantaciones forestales deben cumplir otras funciones ecosistémicas, tales como: mantenimiento de la biodiversidad, control de erosión, absorción de agroquímicos (en el caso de bosques ribereños), control de la cantidad y calidad del agua, protección de los bordes de los cauces, mejoramiento del hábitat para la fauna, mejoramiento de la producción agropecuaria (mediante sistemas agroforestales), mejoramiento de las condiciones del suelo por incremento de la materia orgánica, incremento de los valores estéticos, recreacionales y educativos.
- Generar beneficios socio-económicos como: mejorar la calidad de vida de la población, creación de empleos y posibilidad de aprovechamiento de diversos Productos Forestales No Maderables (PFNM).
- Cumplimiento de Objetivos del Desarrollo Sostenible (Agenda 2030): #5 Igualdad de género; #6 Agua limpia y saneamiento; #8 Trabajo decente y crecimiento económico; #12 Producción y consumo responsable; #13 Acción por el clima; #15 Vida de ecosistemas terrestres; #17 Alianzas para lograr los objetivos.

3.3. Modalidades de proyectos forestales de mitigación de CO₂.

No parece prudente que Venezuela se aboque exclusivamente a una alternativa determinada de actividad forestal. En cada región del país existen circunstancias particulares que ameritan soluciones diseñadas de acuerdo a sus características propias.

El asunto de las especies exóticas siempre genera controversias. Eguren (2004) indica que "hay preocupaciones (implícitas y explícitas, sobre todo en relación a plantaciones mono específicas). **Existe consenso sobre la prerrogativa de soberanía** de los países para definir qué proyectos pueden considerarse un aporte al desarrollo sostenible; y no hay consenso sobre la reglamentación multilateral de este tema". De hecho, se indicó en el punto 1.3.1 que hay proyectos MDL aprobados para plantaciones de especies exóticas en Colombia y Brasil. De igual forma, la Contribución Nacionalmente Determinada (NDC) de Chile plantea alcanzar la neutralidad de carbono al 2050 y una de sus acciones es reforestar 200.000 ha, en las cuales la participación de especies exóticas podría llegar a 130.000 ha (WWF Chile, 2021).

También hay varias opciones de financiamiento que se pueden ejecutar de manera complementaria, para lograr los objetivos antes señalados. Adicionalmente, cada proyecto debería obtener una certificación de manejo sostenible, como la otorgada por el Forest Stewardship Council (FSC) o el Programme for the Endorsement of Forest Certification (PEFC), con la finalidad de que se garantice el cumplimiento de la legislación, derechos de uso de la tierra, derechos de las comunidades locales (incluyendo indígenas), derechos de los trabajadores, protección de áreas con alto valor de conservación y prevención, mitigación o compensación de impactos ambientales.

3.3.1. Deforestación evitada

Se indicó antes que Venezuela tiene una tasa actual de deforestación de 127.400 ha/año; parte de esa afectación incluye Áreas Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE), como parques nacionales (PN), zonas protectoras (ZP), monumentos naturales (MN), reservas forestales (RF), etc, o su entorno inmediato.

Se considera necesario que, en los frentes críticos de deforestación de cada ABRAE, se determinen zonas de amortiguación donde se asignen usos especiales que permitan un nivel de vida digno para la población, pero que a la vez se detenga la destrucción de nuevas superficies boscosas. Es imprescindible que la población asuma que el Estado va a controlar efectivamente la ocupación del territorio. Algunas actividades que se pueden ejecutar son: materialización y defensa de los linderos de las ABRAE, plantaciones forestales con fines diversos, sistemas agroforestales mediante plantaciones y en el bosque natural (en superficies controladas) y

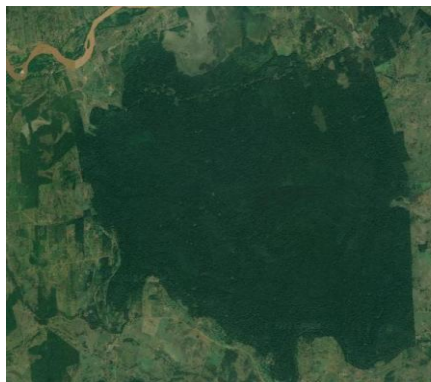
determinación de nuevas áreas protegidas con interés nacional, estatal o municipal (ejemplo: cuencas abastecedoras de agua potable).

Con una visión de muy gran escala, se pueden identificar 11 sectores (Figura 3.1) donde deberían desarrollarse acciones para evitar la deforestación. En su mayor parte son piedemonte de las ABRAE's ubicadas en media y alta montaña, o linderos en ABRAE's que están en regiones con baja pendiente; en ambas situaciones son lugares donde ya se están observando procesos de invasión y destrucción de los ecosistemas.



Figura 3.1. Ubicación de posibles sectores (color naranja) para ejecutar proyectos de Deforestación Evitada. 1: piedemonte este del PN Perijá. 2: piedemonte norte del PN La Culata. 3: piedemonte sur de los PN Tapo Caparo, Sierra Nevada, Guaramacal y Dinira. 4: piedemonte sur de los PN San Esteban, Henry Pittier y El Ávila. 5: piedemonte sur del PN Guatopo. 6: piedemonte sur de la ZP Turimiquire y PN El Guácharo. 7 y 8: linderos norte y este del PN Caura. 9: linderos norte de la RF San Pedro 10 y 11: linderos oeste y norte de la RF Imataca. Adaptado de Pacheco *et al.*, 2011

Con una escala más detallada, se pueden determinar sitios donde también se deberían ejecutar estos proyectos. Hay miles de situaciones que implican ecosistemas amenazados, que deberían ser protegidos. Aquí sólo se muestran los siguientes cuatro ejemplos (Figura 3.2):



a

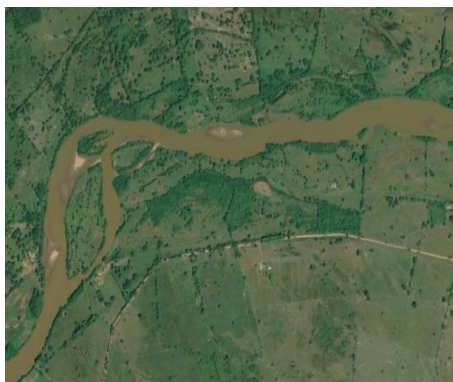


b

a. Estación Experimental Caparo (7.443245°; -70.998513°). b. Bosque San Eusebio (8.659031°; -71.407678°)



c



d

c. Bosques ribereños del río Morichal Largo (8.965827°; -63.086484°). d. Bosques ribereños del río Caparo (7.492668°; -71.154788°)

Figura 3.2. Ejemplos de sitios que requieren proyectos de Deforestación Evitada. En cada caso se indican las coordenadas del punto central. Fuente: Google Earth.

- Estación Experimental Caparo (EEC): ubicada en los llanos occidentales, tiene una superficie de 7.000 ha, de lo cual quedan 6.000 ha con bosques. Está totalmente rodeada de terrenos que pertenecen a la Reserva Forestal Caparo y que ya fueron deforestados para actividades agropecuarias. La estación tiene fuertes amenazas de invasión y explotación ilegal de madera.

- Bosque San Eusebio: ubicado a una altitud aproximada de 2.400 msnm, en la cordillera de Los Andes, tiene una superficie de 360 ha, propiedad de la Universidad de Los Andes. Al norte, al este y al sur hay terrenos donde ha ocurrido deforestación con fines agropecuarios.
- Bosques Ribereños del Río Morichal Largo: este río tiene una longitud aproximada de 200 km y sus bosques ribereños ocupaban originalmente un ancho promedio aproximado de 2 km; eso significa una superficie estimada de 40.000 ha. Esos ecosistemas tienen fuertes presiones debido a la deforestación con fines agropecuarios (conucos), incendios que se originan en las plantaciones de Pino y derrames petroleros. Éste es sólo uno de los abundantes morichales que existen en los llanos orientales y esa es la región donde se concentran las actividades de la Faja Petrolífera del Orinoco. Desde 1990 los morichales están protegidos por el Decreto No. 846, pero eso no ha impedido las afectaciones en esos ecosistemas.
- Bosques ribereños del Río Caparo: la deforestación en los llanos occidentales ha sido tan intensiva que en muchos lugares los potreros llegan hasta las orillas de los ríos. Buena parte de los bosques ribereños (bosques de galería) han desaparecido y eso significa una considerable pérdida de biodiversidad, de hábitat para la fauna terrestre y acuática y del sistema natural de protección contra el efecto erosivo del río y de las crecidas. La imagen sólo representa un pequeño ejemplo de una situación que es muy frecuente en todos los llanos occidentales.

En síntesis, existen cientos de miles de hectáreas que ameritan protección y/o restauración. ¿En cuánta superficie y dónde se diseñarán los proyectos de deforestación evitada? La respuesta debe surgir de un programa detallado que deben liderizar las instituciones del Gobierno. Para eso sería ideal reunir un equipo multidisciplinario que realice la cartografía a nivel nacional, que identifique los sectores o polígonos y que se determine un baremo para asignar un orden de prioridades. Luego vendrán los proyectos específicos para cada sector o sitio y la capacidad de gestión del Gobierno, universidades, ONG's o comunidades organizadas, orientada a lograr los financiamientos necesarios para ejecutar dichos proyectos, lo cual se podría lograr con el GEF y REDD+.

3.3.2. Plantaciones forestales con fines de protección

Deben establecerse en áreas donde no existe cobertura de árboles, no ha ocurrido una restauración natural y la degradación del suelo es incipiente o

avanzada (Figura 3.3). En muchos casos es muy posible que la capacidad de resiliencia de esos sitios esté detenida debido al deterioro del suelo o por actividades humanas, principalmente fuegos ocasionales.



Figura 3.3. Áreas degradadas por actividades agropecuarias. Cuenca del río Cucuchica, afluente del río Mocotíes, estado Mérida

La mayor parte de estas áreas deben ubicarse en medias y altas pendientes, donde existen problemas de erosión, movimientos de masa, alteración del régimen hídrico y de la calidad del agua (por sedimentos).

La pérdida de cobertura forestal ocurrió por deforestación y actividades agropecuarias, en algunos casos con siglos de antigüedad, tal como los cultivos de trigo que ejecutaron los españoles en Los Andes. Pero también hay casos más recientes; el crecimiento demográfico y una ocupación territorial desordenada están generando la aparición de cultivos o ganadería en altas pendientes, en la mayoría de los casos sin obras de conservación de suelos (Figura 3.4).



Figura 3.4. Desarrollos agropecuarios en altas pendientes. Sector Santa Cruz de Mora, cuenca del río Mocotíes, estado Mérida.

Otra situación recurrente es la eliminación de bosques ribereños en cuencas medias y altas, lo cual también ha sido producido por actividades agropecuarias (Figura 3.5). Estos ecosistemas contribuían a proteger las márgenes de los ríos, mantener la biodiversidad y un bioclima y otros recursos de hábitat para la fauna; además ejercían una retención de agroquímicos excedentes de los cultivos vecinos ubicados en las partes más altas, con lo cual se disminuía la contaminación de las aguas.



Figura 3.5. Ausencia de bosques ribereños en las márgenes del río Chama, sector Mucuchíes (8.741853°; -70.931741°), estado Mérida. Fuente de la imagen: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

La ejecución de plantaciones forestales en zonas de medias y altas pendientes es bastante complicada. Las principales razones son las siguientes:

- Los terrenos con media y alta pendiente son difíciles de trabajar. La mecanización para la preparación de tierras es casi imposible. El acceso de vehículos es problemático. Las plantas deben ser cargadas por los trabajadores, esto disminuye los rendimientos y aumenta considerablemente los costos de plantación.
- Habría que ubicar terrenos donde ya no existan actividades agropecuarias. Será muy difícil que los campesinos cedan tierras donde tienen media o alta producción de cultivos, leche o carne, para la plantación de árboles que muy posiblemente les van a impedir esas actividades. De acuerdo a lo que se demostrará más adelante, la sola rentabilidad de la mitigación del carbono no representa ingresos suficientes para mantener una vida digna para la población.
- Debido a los motivos precedentes, las plantaciones protectoras van a tener una alta dispersión. Serán pequeñas unidades (tal vez un promedio de 2 ha cada una, o menos), distribuidas en regiones amplias y con difícil acceso. Lograr unas decenas de miles de ha de este tipo de plantaciones será una tarea ardua.

A pesar de las dificultades mencionadas antes, **debe aclararse que no es imposible hacer plantaciones protectoras**. En el pasado se ejecutaron esos proyectos y, debe reiterarse, en parcelas pequeñas y muy separadas entre sí. En 24 años de actividades, CONARE alcanzó un acumulado de 22.600 ha (MARN, 2001), y eso incluyó algunos proyectos productivos; no hay estadísticas oficiales más recientes y se estima que esa superficie no avanzó mucho más debido a cambios en la política ambiental. Misión Árbol, prácticamente sustituyó a CONARE, y reportó unas 28.000 ha de plantaciones en 15 años (<http://www.minci.gob.ve/mision-arbol-sembro-31-millones-de-plantas-en-el-pais/>; 30/05/2021); pero no se conoce la evaluación de sobrevivencia, ni un programa de protección y vigilancia que garantice la permanencia de estas plantaciones.

Las plantaciones protectoras son totalmente necesarias pero, hay que insistir, las metas nacionales posibles no superan unas cuantas decenas de miles de ha/año. Estos proyectos pueden obtener financiamiento del GEF y del MDL y se estima que las mayores garantías de éxito se obtendrán involucrando a las Gobernaciones, Alcaldías y Corporaciones Regionales de

Desarrollo; esto debe hacerse para la etapa de diseño de proyectos detallados y para aspectos operativos como la construcción de viveros, plantación y protección permanente. El último punto es fundamental, porque su ausencia determinará la desaparición de la plantación.

Otro aspecto que se debe mencionar es el uso de especies exóticas. Hay muchas referencias de oposición a este aspecto. Lógicamente, **lo ideal es usar especies nativas; pero hay situaciones donde esas especies no se adaptan a suelos degradados o su crecimiento es extremadamente lento**. También hay casos donde, desde hace decenas o centenares de años, no existía cobertura forestal y las especies exóticas han sido exitosas; ejemplo de esto son las plantaciones de Pino Caribe en los llanos orientales y las plantaciones de Eucalipto en Tuñame, estado Trujillo (Figura 3.6).



Figura 3.6. Vegetación de Páramo (frailejones) en medio de una plantación de *Eucaliptus* sp. en Tuñame, estado Trujillo

Debe recordarse que las plantaciones no sólo favorecen el almacén de carbono sino que, además, aportan muchos de los servicios ecosistémicos y beneficios sociales que se mencionaron en el punto 3.2 de este documento, por ejemplo, bosques ribereños en Moconoque, cuenca alta del río Chama (Figura 3.7). Además, si la plantación no tiene alta densidad, las especies

exóticas podrían tener una aceptable convivencia con las especies nativas, como las de Tuñame que se mencionaron antes. Obviamente, en la actualidad es inaceptable sustituir a gran o media escala ecosistemas clave como el Páramo por plantaciones de especies exóticas; eso sólo se haría en zonas muy restringidas y con alta prioridad de restauración, donde no se consigan especies nativas aptas para esos lugares.

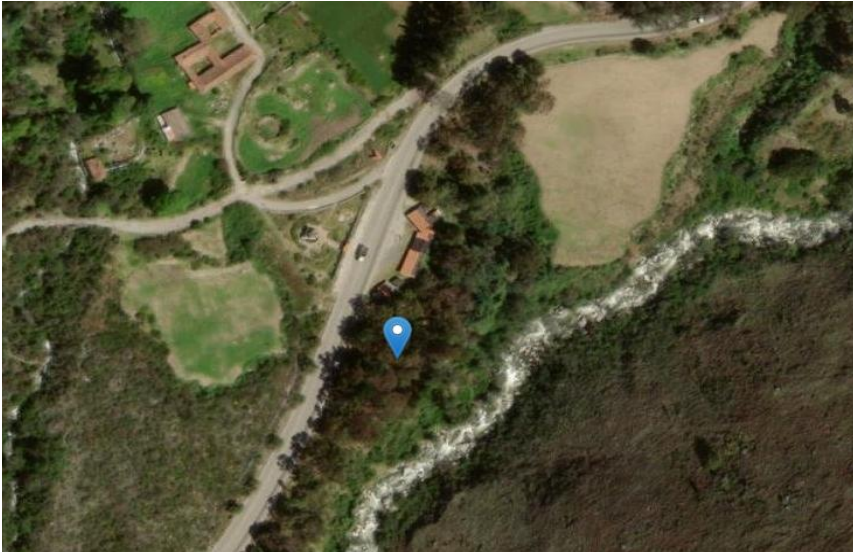


Figura 3.7. Bosque ribereño plantado con Fresno, Ciprés y Eucalipto en el estado Mérida (8.733861°; -70.949287°). Fuente de la imagen: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

3.3.3. Plantaciones comerciales intensivas para aprovechamiento de madera.

Este es un aspecto donde Venezuela tiene una amplia experiencia. Las plantaciones de Pino Caribe (Figura 3.8) comenzaron en los llanos orientales en 1961; para comienzos del siglo XXI se estima que llegaron a ocupar una superficie aproximada de 600.000 ha. En menor escala, pero con resultados muy promisorios, se ha plantado Eucalipto, en los llanos occidentales y orientales y en el norte del estado Bolívar. Además, en reservas forestales se han plantado especies nativas, como parte de los programas de manejo forestal. Mención aparte merece la Teca (exótica), cuya plantación se inició en reservas forestales (Figura 3.9) pero luego fue asumida por las comunidades

rurales como parte del uso integral de sus fincas y ha sido muy exitosa en el occidente y centro del país.



Figura 3.8. Plantación de Pino Caribe en el oriente de Venezuela



Figura 3.9. Plantaciones de Teca en la Estación Experimental Caparo

Las plantaciones intensivas a campo abierto son el método más aplicado. Lo tradicional ha sido usar una sola especie arbórea, con una densidad inicial

de 1.111 individuos/ha, lo cual significa un distanciamiento de 3 x 3 m entre cada planta. En el caso de madera para aserrío lo recomendable es hacer aclareos antes de llegar a la cosecha final; esta operación consiste en eliminar una fracción de la masa, tumbando los individuos con menor desarrollo o mala forma, con el objetivo de que el potencial del sitio sea aprovechado por los mejores individuos, que llegarán al final del turno con mayores tamaños.

La calidad de los árboles es la principal razón de que la plantación se inicie con una alta densidad; no hay garantías de tener un 100 % de supervivencia y tampoco de que todos los individuos tendrán la mejor calidad; una alta densidad inicial permite tener muchos individuos disponibles para después seleccionar los mejores, destinados a que lleguen a la cosecha final; además, a menor espaciamiento hay menor invasión de malezas. Adicionalmente, en algunos casos, los aclareos producen madera de pequeñas dimensiones que generan algunos ingresos en el corto plazo.

Recientemente se han divulgado los beneficios de hacer plantaciones mixtas (varias especies), con fines comerciales; pero no se conocen resultados de esa modalidad en Venezuela.

Las plantaciones intensivas se han realizado en sabanas o áreas ya deforestadas por actividades agropecuarias. **Bajo ningún punto de vista se justifica eliminar un bosque natural (que seguramente tiene más de 40 especies arbóreas por hectárea) para luego plantar una sola especie; en Venezuela, eso no se hace.**

Otra modalidad es hacer plantaciones bajo cubierta de bosques que han tenido aprovechamiento selectivo, lo cual se denomina fajas de enriquecimiento y Método Limba Caparo. Eso no ha tenido mucho éxito en la Guayana Venezolana, pero sí en los llanos occidentales, particularmente con Apamate en la Estación Experimental Caparo (Figura 3.10).

En este caso, se hacen fajas de unos 6 m de ancho dentro del bosque, distanciadas cada 10 a 20 m y con hasta 1.000 m de largo. En esas fajas se plantan arbolitos, a cada 3 m, producidos en un vivero. Estos métodos procuran aumentar la masa de especies comerciales dentro de esos bosques aprovechados y pueden significar un restablecimiento más acelerado de la biomasa. Debe destacarse que entre faja y faja queda el bosque natural; por lo tanto, este sistema mantiene una buena parte de la diversidad original del bosque.



Figura 3.10. Plantaciones de Apamate, con 25 años de edad, en Método Limba Caparo

Las plantaciones forestales, donde se aprovechará la madera, podrían recibir financiamiento del MDL. Antes se mencionó que Colombia ha logrado la aprobación de este tipo de proyectos, inclusive con el uso de especies exóticas (Teca).

3.3.4. Sistemas agroforestales (SAF)

Ésta es una opción que cada día adquiere más importancia; es la combinación de árboles y cultivos o ganado. Esto es sumamente importante porque **buena parte de las tierras ya están ocupadas por campesinos** y el establecimiento de plantaciones forestales puras atenta contra el uso agrícola o ganadero, debido a la competencia por luz que van a ejercer los árboles. Estas plantaciones podrían recibir financiamiento mediante el MDL, GEF y REDD+. Existen muchos tipos de SAF, pero en este documento se van a mencionar los más importantes (Figura 3.11).



a



b



c



d

a. Sistema Taungya, quinchoncho con Teca (Foto: Eduardo Escalante). b. Sistema Silvopastoril con Eucalipto. c. Café bajo sombra. d. Teca en cercas vivas

Figura 3.11. Diferentes sistemas agroforestales que se han aplicado en Venezuela.

- Método Taungya. Es una combinación temporal; cuando los árboles están pequeños se pueden intercalar cultivos como el maíz, granos, caña de azúcar, lechosa, plátanos, etc. El cultivo favorece a los árboles por las operaciones de eliminación de malezas y, posiblemente, la fertilización. Por consiguiente, la plantación obtiene la ventaja de reducir los costos de mantenimiento, de protección y en esas áreas se logran algunos ingresos que pueden amortiguar las inversiones iniciales. Cuando los árboles crecen, generan sombra que impide los cultivos de plantas heliófitas y debe pasarse a otro método de SAF.

- SAF permanentes. Bajo los árboles juveniles o adultos se establecen cultivos que soportan la sombra, tales como cacao, café, copoazú, palmas, etc. Este sistema se puede aplicar en plantaciones o en bosques naturales.
- Sistemas silvopastoriles. Es la combinación permanente de árboles y pasto para ganado. Lo más divulgado se refiere a plantaciones forestales o manejo de regeneración natural con un distanciamiento adecuado que permita suficiente entrada de luz para el crecimiento del pasto. Las mayores experiencias en Venezuela son con Samán, Eucalipto, Apamate (en la zona Sur del Lago de Maracaibo) y Teca (en cercas vivas). También se ha reportado que en épocas de extrema sequía el ganado puede entrar a bosques naturales y allí se alimenta con los elementos naturales del ecosistema (Baldizán y Chacón, 2007).

3.3.5. Plantaciones con fines bio-energéticos.

Este es uno de los aspectos más controversiales, a causa de la férrea oposición que le hacen los sectores ecologistas extremos. Sin embargo, es una opción que no debe ser descartada, debido a la creciente importancia que están tomando las propuestas de energía renovable con el uso de la biomasa, que se fundamenta en el ciclo del carbono (Figura 3.12).

Durante la fotosíntesis las plantas absorben el CO₂ que está en la atmósfera, se generan productos vegetales (como la madera), eso se consume como energía, en ese proceso hay emisiones y ese CO₂ se vuelve a fijar mediante la fotosíntesis. "Cuando la fuente es manejada en forma sostenible, la utilización de la madera como fuente de energía es prácticamente **neutra** frente al clima... la biomasa utilizada para necesidades energéticas sustituye energías fósiles y evita, así, las emisiones de CO₂ asociadas a su combustión. Este efecto de sustitución energética puede referirse a la producción de calor (industrial o domiciliaria) o a la producción de electricidad y de calor a través de una central de cogeneración..." (Chenost *et al.*, 2011).

Si el procesamiento de la biomasa se hace en una planta industrial donde se puedan capturar las emisiones, éstas se podrían almacenar bajo tierra y eso constituye un sistema de "**emisiones negativas**" (Figura 3.13).

Mediante el MDL, Brasil logró el financiamiento de plantaciones bio-energéticas, con Eucalipto, en una superficie de 11.683 ha, destinadas a producir carbón para la industria de arrabio (producto metalúrgico intermedio,

necesario para la producción del acero).

En Venezuela, hubo experiencias de uso del carbón vegetal en FESILVEN, en principio originado en la tumba de bosques naturales del área de inundación de la represa de Guri, lo cual no tenía sostenibilidad a largo plazo. Luego, la CVG y los pequeños carboneros establecieron plantaciones de Eucalipto con esa finalidad en unas 6.000 ha en el norte del estado Bolívar. Debido a problemas financieros y operativos de FESILVEN, el proyecto de carbón vegetal no continuó y buena parte de las plantaciones quedaron sin aprovechamiento.

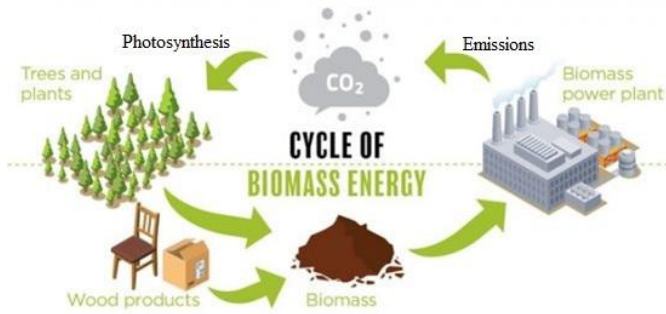


Figura 3.12. Uso de la biomasa como energía renovable. Adaptado de: <https://www.canadianbiomassmagazine.ca/any-renewable-energy-solution-requires-extracting-the-full-value-of-biomass-6499/>.

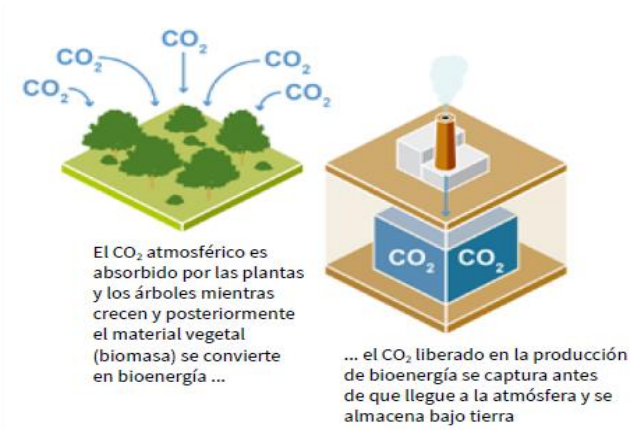


Figura 3.13. Uso de la bioenergía con captura y almacenamiento de carbono (IPCC, 2018).

En las plantaciones de Pino de oriente también es factible el uso bio-energético de la madera. Los rodales de Pino en general tienen una proporción de madera aserrable de 60 %; el resto (40 %) es de muy pequeñas dimensiones, no es apta para el aserrío y es lo que se conoce como "pulpable". Normalmente, ese material pulpable se transforma en astillas con diversos usos: pulpa para papel y cartones, tableros de partículas o usos energéticos. En el último caso, lo más eficiente sería su transformación en "pellets" o "briquetas"; el proceso, para ambos, consiste en compactar y aglutinar partículas de madera; los pellets son más pequeños, porque utilizan sólo aserrín; las briquetas incluyen virutas, y son más grandes (Figura 3.14). El uso bio-energético tendría la ventaja de dar utilidad a miles de toneladas de desperdicios de madera que actualmente están acumulados en los patios de los aserraderos de oriente y de la Guayana Venezolana; además, también podría disponerse de una masa considerable de ramas y fustes de mala calidad, que quedan en los rodales después de la explotación, constituyen un obstáculo para la replantación y, en todo caso, se descomponen o se queman.

Tal y como se indicó al principio, el uso de la madera como energía tiene un debate intenso. Brack (2017) señala que la biomasa es considerada por muchos países como una fuente de energía carbono-neutral; sin embargo, la quema de madera para obtener energía suele emitir más gases de efecto invernadero por unidad de energía producida que los combustibles fósiles; esa emisión puede estar influenciada por la eficiencia de la tecnología empleada para quemar esa biomasa y las emisiones de la cadena de suministro. Cowie *et al.* (2017) refutaron ese argumento indicando (entre otras razones) que "La afirmación de que 'el uso de biomasa leñosa como energía liberará niveles de emisiones más altos que el carbón y niveles considerablemente más altos que el gas' pasa por alto una diferencia vital entre el suministro de energía a partir de combustibles fósiles y de biomasa. La quema de combustibles fósiles libera CO₂ que ha estado encerrado durante millones de años. Por el contrario, quemar biomasa simplemente devuelve a la atmósfera el CO₂ que fue absorbido a medida que crecían las plantas, y no hay una liberación neta de CO₂ si el ciclo de crecimiento y cosecha continúa en el futuro... El informe desdibuja esta distinción entre carbono fósil y biogénico, lo cual es engañoso".



a. <https://es.b2brazil.com>

b. <https://es.123rf.com>

Figura 3.14. Madera transformada para uso energético. a. Pellets. b. Briquetas.

Otras opciones interesantes son el etanol y el bio-diesel. El primero se obtiene de la fermentación de vegetales como el maíz, el trigo o la caña de azúcar. El segundo se produce con los aceites de canola, palma y soya. Las principales críticas que tienen estos bio-combustibles se derivan del uso de alimentos como materia prima (Figura 3.15), con lo que no se considera **ético** destinar esas cosechas a las industrias o a los vehículos, en lugar de aportar comida a millones de personas en el planeta que sufren de desnutrición. La solución a este desacuerdo parece estar en las cuentas internas de cada país (eliminación de la desnutrición), el mejoramiento de los rendimientos de las cosechas y el uso de tierras degradadas que no posean alta capacidad agrícola.



<http://ecologia.blogspot.com>

<https://www.otromundoesposible.net>

Figura 3.15. La controversia sobre la producción de bio-combustibles

Es importante mencionar que, a nivel experimental, en Brasil **se ha producido etanol** con el jugo del pedúnculo de Merey (*Anacardium occidentale*); ese pedúnculo es un sub-producto de la plantación, muy ácido y astringente,

por lo que normalmente es desechado y puede representar cientos de miles de t/año de pérdida (Pereira, 2017). En Brasil hay más de 420.000 ha de plantaciones de Mersey, principalmente en la zona nordeste (<https://www.focus.jor.br/ceara-o-maior-produtor-de-castanha-de-caju-do-pais/>).

La Palma Aceitera (*Elaeis guineensis*) merece una mención especial; su aceite no sólo se usa para elaborar biodiesel, sino también como alimento para humanos, para animales, cosméticos, aseo personal y detergentes. Con 18,7 x 10⁶ ha plantadas en todo el mundo (en 2018), es el tercer cultivo más extenso después de la soya y la canola. Malasia e Indonesia son los principales productores con 11 y 6 millones de ha respectivamente; es una actividad que genera mucha controversia porque su establecimiento se ha realizado, en muchos casos, a costa de la destrucción de bosques naturales (47 % de la deforestación total en Malasia entre 1972 y 2015); se calcula que unas 193 especies (como algunos tipos de orangutanes y tigres), clasificadas por IUCN como en Peligro Crítico, en Peligro o Vulnerable, están amenazadas por los cultivos de palma aceitera (Meijaard *et al.*, 2018). Éstas son las principales razones de quienes se oponen a estas plantaciones.

Por otra parte, la plantación de Palma Aceitera tiene una alta rentabilidad hasta que alcanza una edad entre 20 y 30 años; luego es mejor tumar y reiniciar la plantación; todo el proceso de aprovechamiento de la semilla, tumba y replantación, genera desperdicios. Dungani *et al.* (2018) indicaron que buena parte de esos materiales pueden ser reutilizados; particularmente, los troncos se pueden destinar a la construcción de tableros de partículas destinados a la industria de la construcción; de esta forma puede haber un sustancial mejoramiento del balance de carbono de esta actividad.

Así mismo, Ramos *et al.* (2018) informan sobre un experimento realizado en Brasil, donde **plantaron Palma Aceitera en suelos oxisoles degradados por la ganadería, mediante sistemas agroforestales** que combinan la palma con árboles y con cacao; los valores del almacén de carbono superficial oscilan entre 41 y 51 MgC/ha. Eso no es nada despreciable si se compara con cultivos puros (soya) o pasto para ganado. Miccolis *et al.* (2019) indican que: "Los hallazgos hasta la fecha son muy alentadores. Los rendimientos y los servicios ambientales de la Palma Aceitera son superiores a los sistemas locales de monocultivo, y las áreas también producen otros cultivos. El potencial de almacenamiento de carbono es mayor que el de los sistemas agroforestales

convencionales y de monocultivo de la región (sin Palma Aceitera) y comparable al de los bosques secundarios".

En Venezuela, la empresa Aceite Diana estableció plantaciones y una fábrica de aceite de palma hace unos 30 años en la zona sur del Lago de Maracaibo (Figura 3.16). Además, aportaron conocimientos y algunos insumos iniciales a productores independientes de la zona, para que iniciaran estos cultivos, con la finalidad de tener suficiente materia prima para abastecer la fábrica (observación personal).



Figura 3.16. Fábrica y plantaciones de Palma Aceitera en el estado Zulia (8.963664°; -72.630940°). Imágenes tomadas de Google Earth

Más recientemente se ha observado que las plantaciones de Palma Aceitera se están extendiendo por la zona sur del Lago de Maracaibo, estado Mérida (Figura 3.17). Los productores indican que están interesados en diversificar los cultivos en sus fincas, con especies que tengan alta rentabilidad y como un mecanismo de defensa ante oscilaciones de precio y de mercado de los rubros tradicionales (carne, leche, plátanos, cítricos, etc); se interpreta que esto son iniciativas particulares de los propietarios y será muy difícil impedirlo. Se estima que la superficie total de estas plantaciones en Venezuela es 75.000 ha, un 70 % en la cuenca del Lago de Maracaibo (Zulia, Táchira y Mérida) y el resto entre Yaracuy, Monagas y Portuguesa (Contreras, 2023). Lo que se observa, hasta el presente, es que se han establecido mediante plantaciones puras (no en sistemas agroforestales), destinadas a la industria de alimentos.

La producción de etanol, biodiesel y pellets ha tenido un ascenso vertiginoso, se duplicó en 10 años o menos (Figura 3.18). Esto indica que, en este campo, hay excelentes oportunidades de negocio. Venezuela tiene ventajas competitivas y comparativas para algunas de estas actividades; debería

considerarse la posibilidad de incluirlas en la planificación de desarrollo del país, con la finalidad de obtener energías renovables para el consumo interno e inclusive para exportación. Nuevamente, se reitera, no se justifica la destrucción de bosques naturales para producir estos elementos y, tampoco, el uso de tierras agrícolas de excelente calidad para estos fines. Lo ideal sería usar tierras degradadas y, si es posible, sistemas agroforestales.



Figura 3.17. Plantaciones de Palma Aceitera. Sector Carretera Panamericana, estado Mérida (8.826070°; -71.440559°). <https://earthexplorer.usgs.gov/>

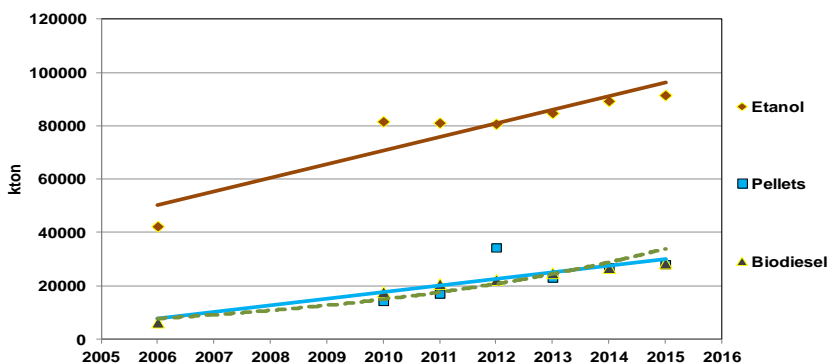


Figura 3.18. Incremento de la producción mundial en el sector bio-energético. Datos tomados de Proskurina *et al.* (2019).

3.4. Crecimiento y almacén de CO₂ en plantaciones forestales.

El crecimiento de una plantación ocurre de acuerdo con una curva sigmoidea, con una tasa lenta al principio (etapa infantil), luego muy acelerada (etapa juvenil-adulta) y finalmente muy lenta (etapa de madurez y senilidad), cuando la masa se acerca a la máxima capacidad de carga del sitio. Puede ser un modelo logístico o puede tener otras formas (Figura 3.19).

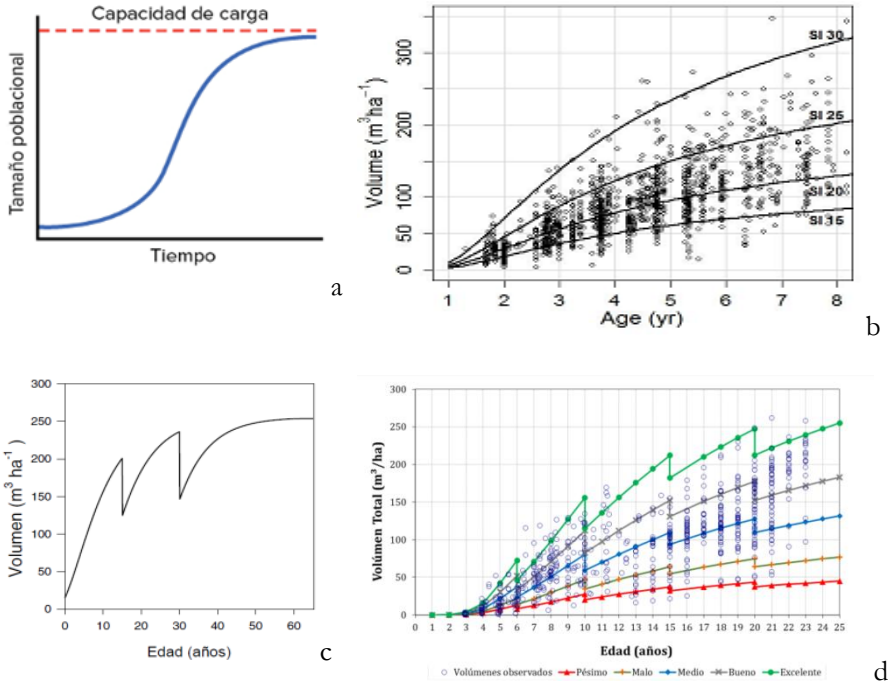


Figura 3.19. Modelos de crecimiento de plantaciones forestales. a. Modelo de crecimiento logístico (<https://es.khanacademy.org>). b. Eucalipto en los llanos occidentales (Carrero Gámez, 2012).c. Teca en los llanos occidentales, con dos aclareos (Quintero *et al.*, 2012). d. Pino Caribe en Guatemala, con aclareos (Instituto Nacional de Bosques, 2017)

El modelo de crecimiento es diferente para cada especie y también está influido por la calidad del sitio de la plantación (efecto del clima y características del suelo), por la procedencia de las semillas y por las condiciones iniciales de la plantación y su manejo posterior (preparación de tierras, distanciamiento inicial, fertilización, mantenimiento, protección,

incendios, aclareos, etc); por estas razones **es frecuente encontrar resultados muy diversos en cuanto al crecimiento de plantaciones para una especie y región determinadas.** Por ejemplo, en el inventario de 59 rodales de 32 años realizado por Maderas del Orinoco (2014), el volumen tuvo una variabilidad entre 157 y 372 m³/ha. Obviamente, al preparar los proyectos detallados se deberán considerar modelos de crecimiento específicos, que dependerán de las variables antes señaladas, especialmente la calidad de sitio (como se muestra en las Figuras 3.19b y 3.19d); la ausencia de estos modelos no impide el establecimiento de la plantación, pero son insumos importantes para seleccionar las mejores alternativas, hacer proyecciones de productividad y de rentabilidad.

El concepto de capacidad de sitio es muy importante; eso es la máxima cantidad de masa forestal, medida como área basal (m²/ha), volumen (m³/ha) o biomasa (t/ha), que puede acumularse en un lugar determinado; esa capacidad máxima depende de las características climáticas (temperatura, precipitación, insolación, vientos, etc.), del relieve y de características del suelo (fertilidad, textura, pH, etc.). Es obvio que las plantaciones forestales no pueden crecer hasta el infinito; cuando se ocupa la capacidad del sitio el crecimiento se detiene. Se indicó antes que es frecuente la aplicación de aclareos en plantaciones comerciales; esa operación pretende dedicar la capacidad del sitio a los mejores árboles; cuando el crecimiento se está haciendo muy lento, se eliminan los peores árboles, eso disminuye la masa y los árboles residuales (los mejores) siguen creciendo hasta llegar otra vez al nivel de la capacidad del sitio; esto permite obtener mayores volúmenes totales e individuos más grandes al final del turno.

En la Figura 3.19b conviene destacar que se estimó el crecimiento de Eucalipto para apenas 8 años de edad porque, en esa región ese es el turno acostumbrado debido a que esas plantaciones tienen el objetivo de suministrar materia prima para la industria de papel y cartones; por esa razón tampoco hay aclareos. Con respecto al modelo de crecimiento de Pino Caribe en Guatemala (Figura 3.19d), se considera que el tipo "medio" (línea color azul) más o menos se puede asimilar al comportamiento de esa especie en los llanos orientales de Venezuela, debido a que es frecuente encontrar rodales de 20 años que tienen entre 140 y 150 m³/ha, haciendo la salvedad de que en estas plantaciones no se hacen aclareos; de hecho, estos suelos se consideran de tipo oligotrófico, es decir, muy pobres en nutrientes y con poca retención de humedad, debido a horizontes muy amplios de arena superficial.

Lamentablemente, en Venezuela no hay muchos estudios sobre estos modelos de crecimiento y menos aún con especies que no tengan valor comercial. Sin embargo, se tienen datos de la cosecha final y, al dividir ese volumen entre la edad, se obtiene una **apreciación del crecimiento lineal de la plantación**. Se indicó antes que el crecimiento realmente corresponde con una curva sigmoidea; pero estas estimaciones aportan información útil para efectos de planificación.

El Cuadro 3.1 presenta un resumen de datos de crecimiento en Venezuela. Conviene comentar algunos resultados de ese cuadro. Los valores máximos de almacén de CO₂ se presentan en San Eusebio (Mérida) con las especies *Cupressus lusitanica* y *Pinus patula*, que lograron respectivamente 760 y 911 tCO₂/ha; debe recordarse que en el Cuadro 2.3 se indicó que el ecosistema natural de esa zona posee un máximo de 537.2 tCO₂/ha; por lo tanto los valores de la plantación deben estar muy cercanos a la máxima capacidad del sitio y **éste sería otro ejemplo de especies exóticas plantadas que superan al almacén natural de CO₂**; pero, también se señaló antes que, en estos sectores es difícil ubicar grandes extensiones de terrenos para ejecutar plantaciones.

Cuadro 3.1. Crecimiento en plantaciones forestales. Adaptado de Briceño *et al.* (2000)

ESPECIE	Edad (años)	Dens. arb/ha)	Volumen (m ³ /ha)	Crec. (m ³ /ha/año)	Biomás fustes (t/ha)	Biomás Total (t/ha)	C (t/ha)	CO ₂ e (t/ha)	O ₂ e (t/ha/año)	Lugar y Zona de Vida
<i>Bombacopsis quinata</i> (Saquisaqui)	8,0	1.111	159,4	19,7	68,5	116,4	58,2	213,4	26,7	Ospino, POR, bsT
	15,0	685	159,0	10,6	68,4	102,6	51,3	188,1	12,5	Caparo, BAR, bs – bhT
	26,0	764	226,9	8,7	97,6	136,6	68,3	250,4	9,6	Caimital, BAR, bsT
<i>Cedrela odorata</i> (Cedro)	8,0	1.111	92,4	11,4	42,5	72,3	36,2	132,6	16,6	Ospino, POR, bsT
	6,0	124	26,3	4,4	12,1	20,6	10,3	37,8	6,3	Caparo, BAR. bs - bhT
<i>C. alliodora</i> (Pardillo Blanco)	8,0	1.111	88,0	10,9	44,0	74,8	37,4	137,1	17,1	Ospino, POR, bsT
<i>C. thaisiana</i> (Pardillo Negro)	8,0	222	21,5	2,7	14,2	24,1	12,1	44,2	5,5	Ospino, POR, bsT
	6,0	191	32,9	5,5	21,7	36,9	18,5	67,7	11,3	Caparo, BAR, bs - bhT
Continúa										

Cuadro 3.1. Crecimiento en plantaciones forestales.....Continuación

<i>G. sepium</i> (Mata Ratón)	8,0	1.111	106,3	13,1	42,5	72,2	36,1	132,4	16,6	Ospino, POR, bsT
<i>S. macrophylla</i> (Caoba)	8,0	844	38,5	4,8	17,3	29,4	14,7	53,9	6,7	Ospino, POR, bsT
<i>Tabebuia rosea</i> (Apamate)	8,0	1.067	92,0	11,4	49,7	84,5	42,3	154,9	19,4	Ospino, POR, bsT
<i>C. lusitanica</i> (Ciprés)	27,3	618	672,4	24,7	295,8	414,1	207,1	759,2	27,8	San Eusebio, MER, bhMB
<i>E. grandis</i> (Eucalipto)	7,4	577	131,2	17,7	66,9	113,7	56,9	208,5	28,2	Ospino, POR, bsT
<i>E. urophylla</i> (Eucalipto)	7,4	844	233,2	31,4	127,7	217,1	108,6	398,0	53,8	Ospino, POR, bsT
<i>Gmelina</i> <i>arborea</i> (Melina)	5,3	1.049	166,8	31,8	66,7	120,1	60,1	220,2	41,5	Sarare, LAR, bsT
	8,0	972	286,8	35,8	126,2	214,5	107,3	393,3	49,2	Ospino, POR, bsT
<i>L. leucocephala</i> (Leucaena)	8,0	1.067	70,3	8,7	45,0	76,5	38,3	140,3	17,5	Ospino, POR, bsT
<i>Pinus caribaea</i> (Pino Caribe)	10,3	953	114,5	11,2	48,1	81,8	40,9	150,0	14,6	Sarare, LAR, bsT
	17,0	394	144,2	8,5	63,4	95,1	47,6	174,4	10,3	Uverito, MON, bsT
	27,0	442	314,3	11,6	138,3	193,6	96,8	354,9	13,1	Barrancas, BAR, bsT
<i>Pinus oocarpa</i> (Pino)	21,0	1.313	246,0	11,7	135,3	189,4	94,7	347,2	16,5	Mococón, MER, bhM
<i>Pinus patula</i> (Pino pátula)	23,2	716	789,0	34,0	355,0	497,0	248,5	911,2	39,3	San Eusebio, MER, bhMB
	21,1	833	601,1	28,5	270,5	378,7	189,4	694,3	32,9	Mococón, MER, bhM
<i>Tectona</i> <i>grandis</i> (Teca)	8,0	1.111	204,6	25,3	120,7	205,2	102,6	376,2	47,0	Ospino, POR, bsT
	27,8	1.400	416,2	15,0	245,6	343,8	171,9	630,3	22,7	Caparo, BAR, bs - bhT

C. alliodora: *Cordia alliodora*. *C. thaisiana*: *Cordia thaisiana*. *G. sepium*: *Gliricidia sepium*. *S. macrophylla*: *Swietenia macrophylla*. *C. lusitanica*: *Cupressus lusitanica*. *E. grandis*: *Eucalyptus grandis*. *E. urophylla*: *Eucalyptus urophylla*. *L. leucocephala*: *Leucaena leucocephala*

Se estima que el resultado volumétrico de *Pinus caribaea* en Uverito (144,2 m³/ha en 17 años) debe estar muy cercano a la máxima capacidad de un sitio "medio", tal y como lo señala la Figura 3.19d. De igual forma, el resultado volumétrico de Teca en Caparo (Barinas) es de 416,2 m³/ha en 27,8 años y eso también debe estar cercano a la máxima capacidad de sitio, de acuerdo a lo

que se muestra en la Figura 3.19c.

Los datos volumétricos de inventarios (en cada edad) se pueden usar para estimar acumulación de biomasa y de CO₂. El volumen (m³) se multiplica por la densidad de la madera (kg/m³) y así se obtiene la biomasa de fustes (kg); luego se usan los factores de expansión determinados por Brown, Lugo y Chapman (1986) para calcular la biomasa total; ese valor se multiplica por 0,5 para obtener la masa de carbono y luego se multiplica por 44/12 para determinar la masa de CO₂ equivalente. Siguiendo este procedimiento se calcularon los modelos de crecimiento que se muestran en la Figura 3.20 para Pino Caribe y Figura 3.21 para Teca.

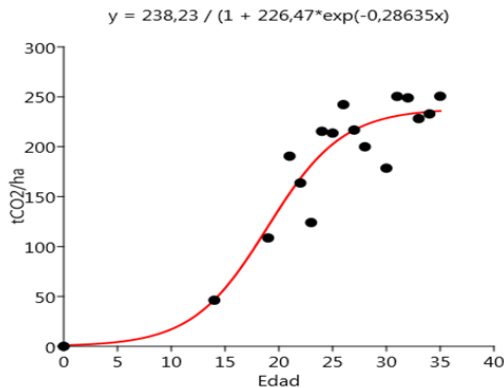


Figura 3.20. Modelo logístico de acumulación del CO₂, en plantaciones de Pino Caribe del oriente de Venezuela. Cálculos propios a partir de los promedios de volumen reportados por Maderas del Orinoco (2014). El punto (0,0) fue agregado para obtener un ajuste más vinculado con la realidad

Debe aclararse que, en ambos casos, se usaron valores promedio; el comportamiento de los datos es muy disperso y realmente posee unas bandas de máximos y mínimos, que ameritan un procesamiento estadístico más detallado que deberá hacerse en trabajos posteriores. Además, debe destacarse que los valores del Cuadro 3.1 son datos puntuales en una edad determinada de la plantación. Pero, los modelos de crecimiento deben ser realizados con muchos datos, correspondientes a distintas edades de una plantación.

Conviene destacar que Lugo *et al.* (1988) publicaron datos de incremento medio anual de la biomasa para plantaciones en el trópico de las especies *Pinus caribaea*, *Tectona grandis*, *Pinus patula*, *Gmelina arborea*, *Cupressus lusitanica*, *Eucalyptus grandis* y *Albizia falcataria*, encontrando un rango medio de

crecimiento de 1 a 30 t/ha/año. Eso es equivalente a un sumidero de 1,8 a 55 tCO₂/ha/año; todas las especies señaladas en el Cuadro 3.1 están dentro de ese rango.

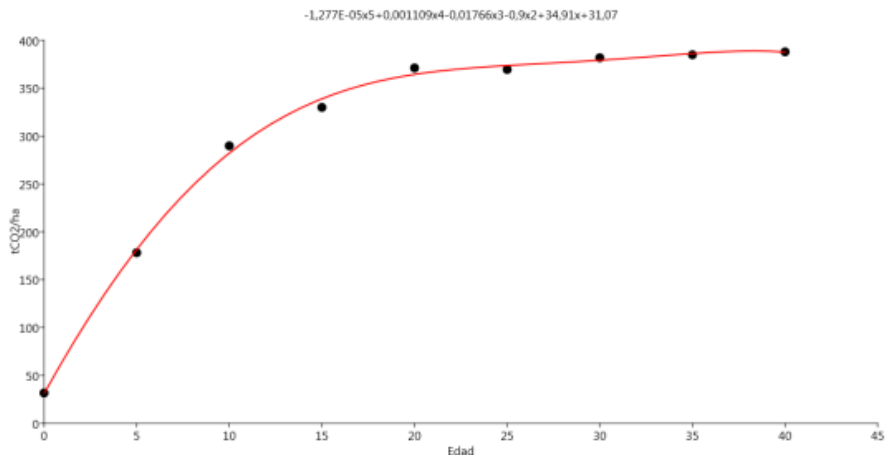


Figura 3.21. Modelo polinómico de acumulación de CO₂ en plantaciones de Teca, en el occidente de Venezuela. Cálculos propios a partir de datos de volumen reportados por Quintero et al. (2012)

Montagnini y Porras (1998) indican que las plantaciones mixtas tienen mayor crecimiento por hectárea que las plantaciones puras, y obtuvieron valores de biomasa aérea entre 10,3 y 13,0 t/ha/año (equivalentes a 18,9-23,8 tCO₂/ha/año). Esto fue un experimento realizado en Costa Rica, con tres mezclas de 4 especies nativas seleccionadas del siguiente listado: *Jacaranda copaia*, *Vochysia guatemalensis*, *Calophyllum brasiliense*, *Stryphnodendrom microstachyum*, *Terminalia amazonia*, *Dipteryx panamensis*, *Virola koschnyi*, *Albizia guachapele*, *Hyeronima alchorneoides*, *Pithecellobium elegans*, *Genipa americana* y *Vochysia ferruginea*.

Chenost et al. (2011) reportan datos de los siguientes dos proyectos: plantaciones en Colombia, con 5.000 ha de Melina, Teca y Ceiba Roja (exóticas), generan créditos de 100.000 tCO₂/año y un total de 3x10⁶ tCO₂ (en 30 años), lo cual sería equivalente a un sumidero de 20 tCO₂/ha/año y un almacén total de 600 tCO₂/ha; plantaciones en República Democrática del Congo, con 4.226 ha de Eucalipto, Acacia, Pinos y especies locales, los créditos estimados son 54.000 tCO₂/año y un total de 1,6x10⁶ tCO₂ (en 30 años), equivalentes a 12,8 tCO₂/ha/año y un total de 379 tCO₂/ha.

En Uganda, Kiyingi *et al.* (2016) reportan que, en una rotación de 20 años, *Pinus caribaea* y *Eucalyptus grandis* lograron secuestrar 418 y 638 tCO₂/ha respectivamente (20.9 a 31.9 tCO₂/ha/año).

IPCC (2019) indica que, en bosque seco tropical de Norte y Sudamérica, *Pinus* sp. tiene un crecimiento en biomasa de 7 t/ha/año, lo que es equivalente a 12.8 t/CO₂/ha/año. Ese valor es similar a las tasas indicadas en el Cuadro 3.1, donde se reporta un rango entre 10.3 y 14.6 t//CO₂/ha/año. Pero, debe considerarse que estos últimos datos corresponden a plantaciones entre 10 y 27 años, que es una etapa de pleno crecimiento y luego esas tasas disminuyen según lo que indica la Figura 3.20. Además, los datos de IPCC son para los Pinos en general y puede ser que, en particular, *Pinus caribaea* tenga un crecimiento más lento. También, debe resaltarse que las adversas condiciones climáticas (sub-húmedo) y edáficas (suelos oligotróficos) del oriente de Venezuela pueden inducir a una tasa más reducida de crecimiento. El modelo de crecimiento (Figura 3.20) indica un almacén aproximado de 236 tCO₂/ha a los 35 años. En contraste, los datos de Bukoski *et al.* (2022) indican para esa especie 616 tCO₂/ha en 34 años; pero eso ocurre en un sitio de Brasil que posee una temperatura media anual de 21°C y precipitación de 1.350 mm/año, correspondiente a bosque húmedo premontano, lo cual representa mejores condiciones que la transición bosque muy seco - bosque seco tropical donde están las plantaciones del oriente de Venezuela; existen otros factores que constituyen ventajas evidentes para el mejor desarrollo de esas plantaciones en Brasil (Cook, 2014): riego en los períodos de poca precipitación, fertilización en campo y control de hormigas; los últimos dos aspectos han sido muy irregulares en Venezuela; el primero, ni remotamente se ha considerado.

Eucalyptus spp. ha sido ampliamente calificado como un género con crecimiento rápido; en el sur de la India, Divya *et al.* (2022) indican que su biomasa aérea alcanza a 53,6 tC/ha en 5 años, lo cual es equivalente a 39,3 tCO₂/ha/año.

Paulownia spp. es posiblemente el género con mayor capacidad de sumidero. Su madera es de buena calidad, son especies forrajeras y melíferas. *P. tomentosa* ha sido reportada como invasora (Haysom y Murphy, 2004), pero eso no se ha señalado para *P. elongata* ni para *P. fortunei*; en todo caso ese problema no debe existir si se plantan híbridos. Se adapta a suelos degradados y su crecimiento es muy rápido: 20 m de altura y 35 cm de diámetro en 6 años, según Pożoga, Olewnicki y Jabłońska (2019); 470 m³/ha en 5 años

(<http://eco-investments.ru/plantation-for-commercial-wood.html>). Estas plantas están siendo promocionadas como muy buenas opciones para mitigar el cambio climático debido a que se les atribuye un potencial de sumidero entre 150 y 300 t/ha/año (biomasa) hasta los 7 años, con una densidad de 2.000 plantas/ha, lo cual significa un almacén de 1.925-3.850 tCO₂/ha y un sumidero de 275-550 tCO₂/ha/año (Jiménez *et al.*, 2005, citados por Costea *et al.*, 2021); pero, estos datos deben tomarse con cuidado porque **no hay más referencias científicas que los respalden**. Debido a esta capacidad de almacenamiento, se plantea un modelo teórico de crecimiento (Figura 3.22) con una capacidad de carga de 470 m³/ha o 2.500 tCO₂/ha, de acuerdo con los datos antes reportados.

Por otra parte, en épocas recientes, la ecuación general más utilizada para estimar biomasa es la de Chave *et al.* (2014), que se indica a continuación:

$$AGB = \exp [-1.803 - (0.976 * E) + 0.976 * \ln(WSG) + 2.673 * \ln(dbh) - 0.0299 * \ln(dbh)^2]$$

Donde, AGB es la biomasa de un árbol en kg, E es el factor de estrés bioclimático (particular para cada sitio de acuerdo con sus coordenadas; para obtenerlo se siguen los pasos indicados en http://chave.ups-tlse.fr/pantropical_allometry.htm), WSG es la densidad de la madera en g/cm³, dbh es el diámetro a la altura del pecho (cm). Se toman los mismos factores utilizados antes, para convertir biomasa en C y éste en CO₂ equivalente. Con estos elementos se puede hacer un ejercicio para una plantación teórica de Paulownia (Cuadro 3.22).

Esta ecuación es muy útil porque permite calcular con mayor precisión la masa de un árbol, conociendo su ubicación, diámetro a la altura del pecho y la densidad de la madera de la especie correspondiente. Se reitera que ésta es la fórmula más usada en estudios relacionados con el almacén de carbono.

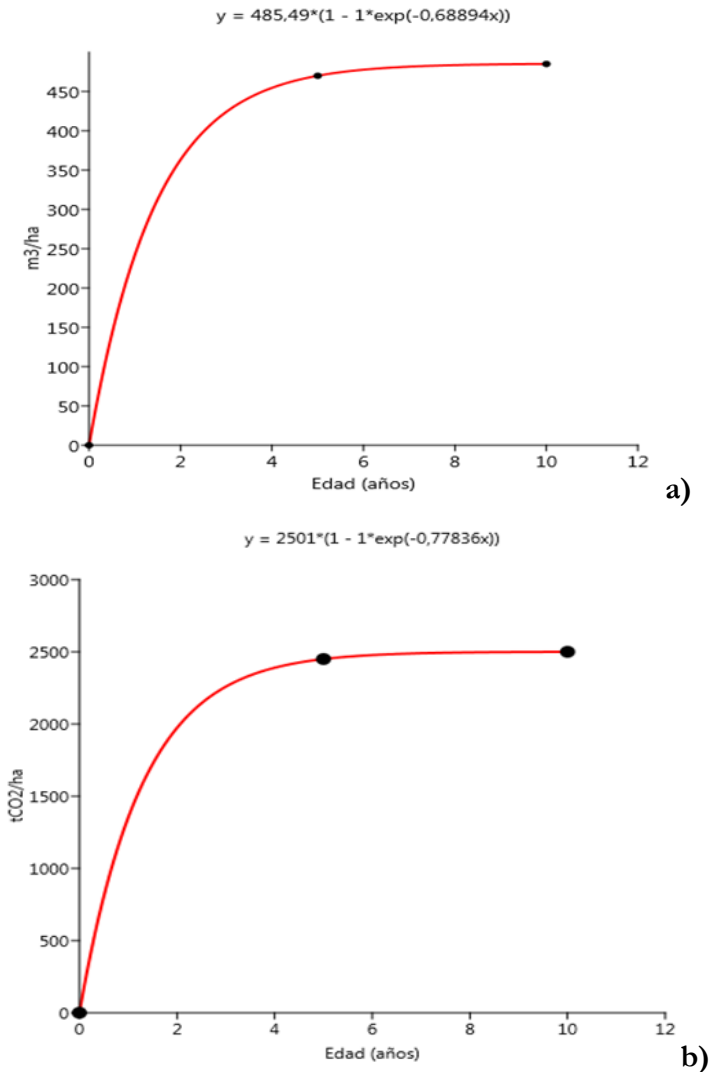


Figura 3.22. Ajuste del modelo de crecimiento de von Bertalanffy (1938) en plantaciones de Paulownia. a) Volumen rollizo. b) Acumulación de CO₂. Estimaciones propias en función de datos reportados por Jiménez *et al.*, 2005 (citados por Costea *et al.*, 2021) y <http://eco-investments.ru/plantation-for-commercial-wood.html>. El punto (0,0) se agregó para obtener una ecuación más vinculada con la realidad

Cuadro 3.2. Cálculos de almacén de CO₂ en una plantación teórica de Paulownia

Variable	Valor
Densidad de la madera (g/cm ³)	*0,35
Diámetro promedio (cm, en 7 años)	38
Factor E (Imataca, estado Bolívar)	-0,03
Biomasa (kg/árbol)	685
Densidad (árboles/ha)	2.000
Biomasa (t/ha)	1.370
Carbono (tC/ha)	685
Dióxido de carbono (tCO ₂ e/ha)	2.512

*Kalaycioglu *et al.*, 2005

3.5. ¿Qué superficie debe plantarse para mitigar las emisiones de Venezuela? ¿Dónde?

De acuerdo a lo señalado en el punto 2.2, la estimación mínima confiable de emisiones es **300 x 10⁶ tCO₂e CADA AÑO**, si no aumenta la tasa de Venezuela (lo cual es muy improbable). Se resalta que es cada año, si se desea cumplir el Acuerdo de París de alcanzar emisiones netas cero para el año 2050.

Es recomendable que el plan forestal del país, para mitigar las emisiones, sea diverso; es decir, que se apliquen varias opciones, con la finalidad de obtener la mayor cantidad y variedad de beneficios colaterales asociados. Pero, las alternativas forestales con mayor capacidad de sumidero de CO₂ son las plantaciones intensivas. Obviamente, **cada área debe permanecer plantada a perpetuidad; los lotes que sean aprovechados deben ser replantados inmediatamente.** Se reitera, las plantaciones intensivas son la opción que puede aportar el mayor sumidero de carbono. De ellas, las plantaciones en tierras bajas presentan las más amplias posibilidades de territorios disponibles; las plantaciones protectoras en cuencas medias y altas, son muy necesarias, pero es muy difícil ubicar grandes superficies. La deforestación evitada y los sistemas agroforestales, también son necesarios, pero seguramente su capacidad de sumidero será menor que las plantaciones intensivas.

Por las razones antes expuestas, se usarán los valores de los modelos de Pino Caribe y Teca que se indicaron en el punto 3.4 (en ambos casos a los 35 años), para estimar las necesidades de superficie que deben establecerse (Cuadro 3.3), bajo un supuesto de que TODA la emisión se va a compensar mediante plantaciones forestales. También se asume que será un 70 % con Pino Caribe y un 30 % con Teca. Aunque la primera especie tiene menor

capacidad de sumidero, hay más tierras disponibles para plantarla y los costos de establecimiento pueden ser más bajos. La Teca no se puede menospreciar porque existe mucha experiencia con esa especie y su madera alcanza mejores precios en el mercado internacional. Se usan estas especies a manera de ejemplo de las que tienen lento crecimiento (Pino Caribe) y las de rápido crecimiento (Teca).

La opción "a" muestra la cuota de plantación (1,1 x 10⁶ ha/año) que se requiere para mitigar los 300x10⁶ tCO₂ que se emiten cada año en Venezuela. **Plantar un millón de hectáreas todos los años es imposible**, desde el punto de vista financiero, operativo y de disponibilidad de tierras. Aún cuando esa cuota se reparta en varios años, el total que se logre (después de muchos años) corresponde a la mitigación de un solo año en particular. La opción "b" indica la superficie total de plantaciones que se deben establecer y mantener con la misma finalidad (casi 38,5 millones de ha); **eso también es imposible**, en Venezuela no hay 8 millones de ha aptas para plantar Teca, ni 31 millones de ha para plantar Pino; además, debe tomarse en cuenta que cuando una plantación alcanza la capacidad de carga deja de crecer, el sumidero en esa etapa es casi nulo.

Cuadro 3.3. Superficie de plantación necesaria para mitigar las emisiones de CO₂

	Especie	CO ₂ a mitigar (t/año)	Capacidad	Superficie
a) De acuerdo al almacén	Pino	210.000.000	236 t/ha	889.830 ha/año
	Teca	90.000.000	387 t/ha	232.558 ha/año
	Total	300.000.000	-----	1.122.388 ha/año
b) De acuerdo al sumidero	Pino	210.000.000	6,7 tCO ₂ /ha/año	31.343.284 ha
	Teca	90.000.000	11,1 tCO ₂ /ha/año	8.108.108 ha
	Total	300.000.000	-----	39.451.392 ha

Si se logra establecer Paulownia, que logre un almacén relativamente intermedio de 2.500 tCO₂/ha en 7 años (de acuerdo a lo reportado en la literatura), la superficie anual de plantación que se debe establecer y mantener sería 120.000 ha/año (sin aprovechamiento). Eso es más factible.

Por razones estratégicas, se podrían calcular sólo las emisiones derivadas de la explotación de petróleo de Venezuela. La producción promedio de 2022 fue 700.000 barriles/día (OPEC, 2022), lo que representa unos 210x10⁶ barriles/año; por cada barril se emiten 0.43 tCO₂ (Granados *et al.*, 2015), con

lo cual la emisión anual serían 90×10^6 tCO₂. **Con Paulownia se necesitaría un total de 36.000 ha/año (sin aprovechamiento) para mitigar esas emisiones de la industria petrolera venezolana**, si se mantiene ese nivel de producción de crudo. Si fuera con Pino Caribe la superficie sería 381.356 ha/año (sin aprovechamiento).

Pero, debe recordarse que no existen reportes técnicos que demuestren este rendimiento de Paulownia en Venezuela y no es recomendable establecer exclusivamente plantaciones monoespecíficas; lo ideal son las plantaciones mixtas y dar prioridad a las especies nativas.

Es frecuente encontrar confusiones en la forma de realizar los cálculos; por ejemplo, asumir que el almacén total (tCO₂/ha) corresponde al sumidero (tCO₂/ha/año), sin tomar en cuenta que la plantación tardó X años (turno) para alcanzar ese almacén (comunicación personal del Dr Emilio Vilanova, analista de carbono forestal en Wildlife Conservation Society). Por este desorden, algunas personas han llegado a afirmar que "el bosque de Uverito, con 600.000 ha, puede mitigar a perpetuidad todas las emisiones de CO₂ de Venezuela" (observación personal). Hay que insistir en que eso es un error; si el bosque de Uverito tuviera un almacén general de 236 tCO₂/ha (lo cual es improbable porque hay abundantes rodales jóvenes que aún no han llegado a la capacidad de sitio), allí habría un almacén total de $141,6 \times 10^6$ tCO₂. Ojo, esa NO es la cantidad de CO₂ que se captura cada año; esa es la cantidad total de CO₂ que queda almacenada después que la plantación alcanza la capacidad de sitio y deja de crecer; eso ni siquiera alcanza para mitigar las emisiones de medio año de Venezuela. Debe recordarse que ninguna plantación crece hasta el infinito; cuando alcanza la capacidad de sitio el crecimiento es ínfimo de acuerdo a lo que indican las Figuras 3.20, 3.21 y 3.22. Los cálculos señalados en el Cuadro 3.3 son una forma simple, pero efectiva, para estimar la superficie de plantación necesaria para una situación determinada de emisiones. Coincide con el método utilizado por Reinhart y Grubert (2022) para una planta de energía en USA que utiliza carbón como combustible, donde se cuantificó que un escenario de emisión de $2,6 \times 10^6$ tCO₂/año se podría mitigar con una plantación que logra acumular 173 tCO₂/acre, y eso resultaría en un total de 15.000 acres/año; si la emisión alcanza a un total de 13×10^6 tCO₂/año y se considera el período 2021-2050 (30 años), esos autores indican que la superficie completa a plantar sería superior a dos millones de acres ($2,25 \times 10^6$ acres).

La emisión de un año cualquiera se podría mitigar TODA en el año siguiente. Por ejemplo, si se considera una emisión de 100×10^6 tCO₂/año y se van a mitigar con Paulownia (2.500 tCO₂/ha), manejada con un turno de 10 años, se requiere plantar 40.000 ha/año de esa especie; obviamente esa plantación debe mantenerse en pie de por vida. Si la emisión permanece constante, se genera el esquema de plantación en "superficie completa" que se muestra en la Figura 3.23. Eso se mantiene de manera indefinida mientras ocurran las emisiones. La variación en la tasa de emisión se reflejará en el aumento o disminución de la superficie a plantar.

Existe la opción de fraccionar la superficie a plantar, correspondiente a un año determinado, en una cantidad de cuotas equivalente al número de años del turno con que se maneja la plantación. Eso produce un esquema de plantación en "progresión aritmética" (Figura 3.24), que también se mantiene de manera indefinida mientras existan emisiones. Está claro que, si hay variación en la tasa de emisión también ocurrirán cambios en la pendiente de la curva de incremento de la superficie de plantación. La figura muestra que las emisiones del año 2020 (color negro) se compensan en 10 porciones iguales entre los años 2021 y 2030 (4.000 ha/año); así ocurre para todas las emisiones. Evidentemente, esta figura sólo expone una fracción del tiempo; las compensaciones que faltan se lograrán en años subsiguientes.

Finalmente, la mitigación se puede fraccionar, como se indicó en el punto anterior, pero en algún momento puede ocurrir el fin de dichas emisiones o una disminución sustancial en las mismas; esta posibilidad se explicará en párrafos posteriores.

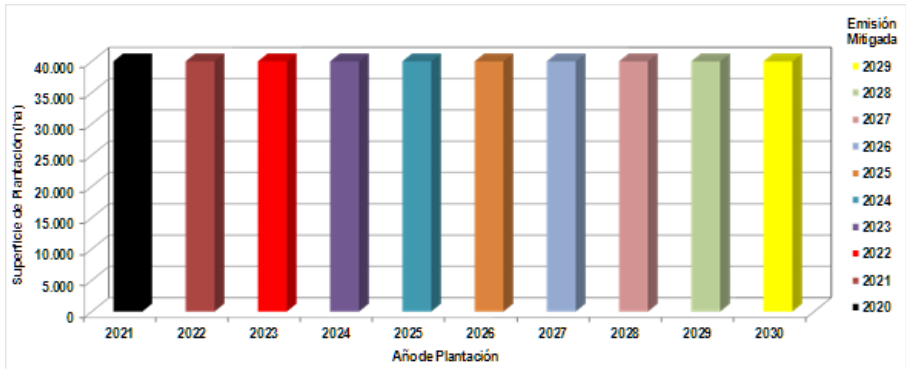


Figura 3.23. Esquema de plantación de superficie completa, para mitigar emisiones de CO₂

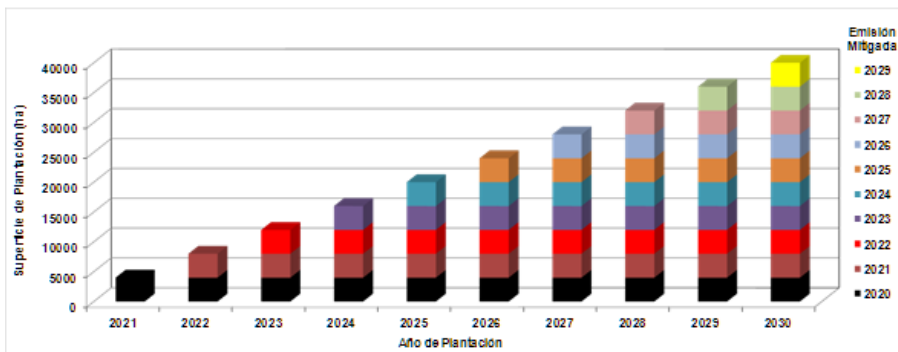


Figura 3.24. Plantaciones en progresión aritmética, para mitigar emisiones de CO2

Esto resulta en un proyecto de plantaciones con un "esquema piramidal" (Figura 3.25). Por ejemplo, la mitigación de las emisiones de 2022 (color rojo) se hace en 10 cuotas iguales que comienzan en 2023 y finalizan en 2032. En particular, el esquema que se muestra en esta figura considera que ocurren emisiones hasta el año 2030. Obviamente, esto habría que ajustarlo a cada situación particular en cuanto a las superficies a plantar, el turno de la plantación y la fecha de disminución o finalización de las emisiones. Si no desaparecen las emisiones, sino que ocurre una disminución sustancial, seguramente se aplicará después un esquema de superficie completa, adicional a las cuotas que señala la pirámide (por ejemplo, en el año 2031 y siguientes).

En los tres esquemas antes expuestos, es OBLIGANTE mantener las plantaciones a perpetuidad. Si ocurre una destrucción por causas naturales o antrópicas, la masa forestal debe ser restaurada a la mayor brevedad posible.

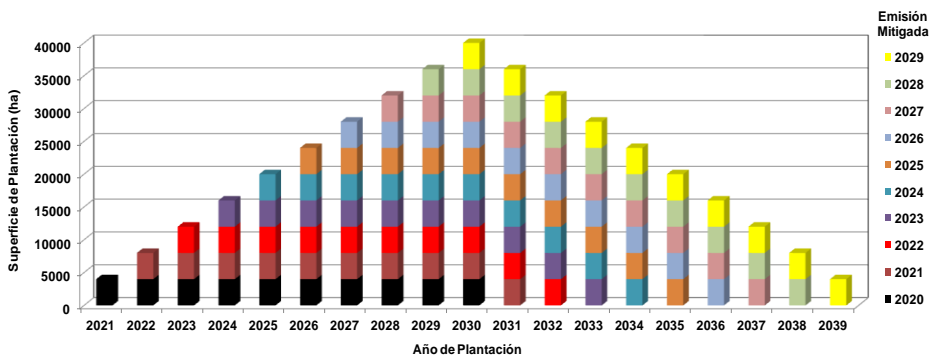


Figura 3.25. Plantaciones con esquema piramidal, para mitigar emisiones de CO2.

Pueden aplicarse otras modalidades; por ejemplo, completar una cuota antes del turno y dejar una serie de años para que toda la plantación se desarrolle hasta alcanzar la capacidad de sitio; en el esquema mencionado en los párrafos anteriores, se hace la plantación en 5 años (8.000 ha/año) y en los 5 años siguientes esa plantación crece hasta alcanzar su máxima biomasa. Estos son artificios válidos que no cambian la cantidad total de plantaciones que se requieren para compensar una emisión determinada.

Bernal *et al.* (2018) realizaron un análisis sobre las tasas de absorción de CO₂ en varias especies de árboles en diferentes lugares del mundo; para Teca en zonas tropicales secas reportaron un valor de 12,7 tCO₂/ha/año y para Pino en general en zonas templadas secas es 7,6 tCO₂/ha/año; ambos valores son ligeramente superiores a los que se obtienen de los modelos de crecimiento usados en este trabajo (Figuras 3.20 y 3.21). Con base en esa investigación, WinRock International creó una hoja Excel que permite calcular la cantidad total de CO₂ que se puede acumular en un proyecto de plantaciones de 21 años (<https://winrock.org/document/forest-landscape-restoration-climate-impact-tool/>). Se utilizó esa herramienta para hacer una estimación del CO₂ absorbido, **en 21 años**, con un proyecto de plantación de 100.000 ha/año de Teca, en bosque seco tropical; el resultado (Figura 3.26) indica que esas plantaciones podrían compensar un total cercano a 300 x 10⁶ tCO₂; eso apenas alcanza para cubrir las emisiones totales de Venezuela **de un solo año**.

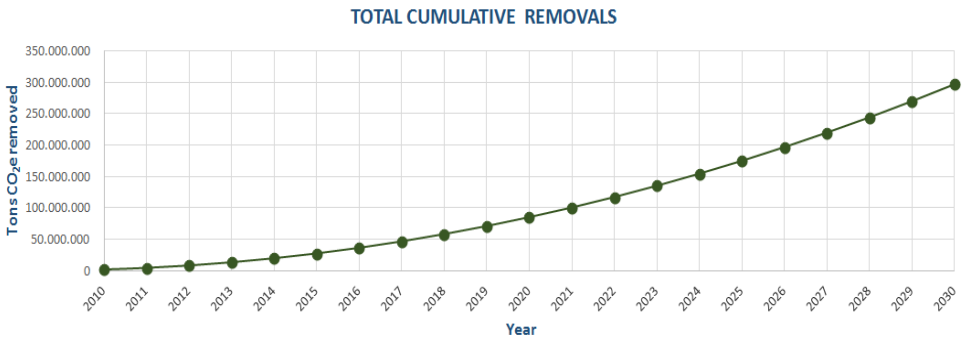


Figura 3.26. Remoción de CO₂ de la atmósfera, por medio de una plantación de Teca (100.000 ha/año), de acuerdo al modelo de WinRock International

Se deduce que, es **URGENTE Y PRIORITARIO** disminuir las emisiones. Es muy difícil que el sector forestal pueda servir de

sumidero para todas las emisiones de gases de efecto invernadero, ni en Venezuela ni en ningún otro país. Se ha calculado que el sector forestal podrá conservar y secuestrar, para el año 2050, apenas entre un 11 y 15 % de las emisiones totales de combustible fósil durante el mismo período (Brown et al., 1996). Trabajos más recientes indican que el potencial global de mitigación biológica es 100 GtCO₂ (100 x 10⁹ tCO₂, de acuerdo con IPCC, 2001). Desde la Revolución Industrial hasta el año 2020 se han emitido 1.5 trillones de tCO₂ (1.500 x 10⁹ tCO₂, de acuerdo con <https://www.noaa.gov/news-release/carbon-dioxide-now-more-than-50-higher-than-pre-industrial-levels>); por lo tanto, la capacidad de los ecosistemas de absorber el CO₂ emitido está en apenas 6,7 %.

Alcanzar el estatus de emisiones netas cero (neutralidad climática) implica reducir las emisiones en al menos un 90 % para 2050 y dejar el 10 % restante para la compensación mediante sumideros naturales; por ejemplo, el gobierno español así lo ha aceptado en su estrategia de largo plazo (MITECO, 2020). Eso es lo que se conoce como "**iniciativa de objetivos basados en la ciencia**" (Science Based Targets initiative, de acuerdo a SBTi, 2021) y es un compromiso adquirido por importantes empresas como AT&T, Adidas, Apple, BMW, Casio, Coca-Cola, Colgate Palmolive, Electrolux, Iberdrola, Eneco, Ford, General Motors, Hitachi, Johnson & Johnson, Kellogg, McDonald's, Mercedes-Benz, Michelin, Nike, Nestlé, Nokia, Panasonic, PepsiCo, Pfizer, Pirelli, Procter & Gamble, Puma, Siemens, Sony, Telekom, Volvo, Xerox y Yamaha (<https://sciencebasedtargets.org/reports/sbti-progress-report-2021/progress-data-dashboard# datadashboard>).

Las estrategias más importantes para reducir las emisiones se fundamentan en lo que se conoce como "**descarbonización de la energía**", es decir una transición energética donde disminuye el uso de combustibles fósiles y aumentan las formas limpias y renovables de producir energía, tales como: biocombustibles, hidrógeno renovable, energía solar, energía eólica, energía hidráulica y energía geotérmica (<https://www.repsol.com/es/sostenibilidad/cambio-climatico/descarbonizacion/index.cshhtml>).

Si se aplica el criterio, implícito en las emisiones netas cero, de compensar sólo el 10 % de las emisiones, en Venezuela eso corresponde a 30 x 10⁶ tCO₂/año. Con la combinación Pino-Teca (almacén promedio de 311,5 tCO₂/ha) resultaría en una cuota de plantación de 96.300 ha/año. Con Paulownia (2.500 tCO₂/ha) serían 12.000 ha/año.

La máxima cuota de plantación que se ha logrado hasta el presente en Venezuela fue 37.000 ha/año y ocurrió en 1988 en oriente (comunicación personal del Ing. Salvador Dichiara, Gerente de Operaciones Forestales de Maderas del Orinoco); el proyecto de Pino Caribe se inició en 1961, lo cual significa que pasaron 27 años para lograr la organización, mano de obra calificada y el financiamiento necesarios para alcanzar esa meta. Con la experiencia que se tiene actualmente y con un horizonte de planificación de 5 años, tal vez es posible lograr una cuota de plantaciones de 100.000 ha/año, con una organización centralizada (ejemplo Maderas del Orinoco o una Corporación de Desarrollo Forestal), pero con autonomía administrativa, y con recursos humanos y económicos suficientes. Si las Gobernaciones y Alcaldías se agregan a esta tarea, esa cuota podría aumentar.

En Venezuela se han deforestado 21×10^6 ha entre 1960 y 2020. Con una visión netamente ecologista, esa superficie debería ser reforestada; pero, en la práctica, eso no es posible. Buena parte de esas tierras ya tienen uso agropecuario y es casi ficticio plantear el desplazamiento de esas actividades para restablecer la cobertura forestal. Una posibilidad muy factible está en el Decreto sobre el Programa Nacional de Plantaciones Forestales Comerciales y de Usos Múltiples (1991), que incluye una superficie de 9.160.300 ha, en 21 áreas distribuidas en varios estados del país (Figura 3.27).

En estas áreas también se requiere un tratamiento cuidadoso de las poblaciones locales, que seguramente ya ocuparon extensiones importantes con actividades agropecuarias. Se considera necesario hacer ajustes a este decreto, porque hay áreas que ya tienen plantaciones y no están allí incluidas, por ejemplo las plantaciones del norte de El Caura e Imataca, en el estado Bolívar. Además, aunque sean terrenos difíciles, no deben olvidarse los sectores degradados en cuencas medias y altas; allí también es prioritario ejecutar plantaciones protectoras. Una actualización de ese decreto seguramente incrementará la superficie que puede ser plantada, sobre todo si se incluyen los sistemas agroforestales.

3.6. Sectorización y especies recomendadas.

Para efectos de planificación a gran escala, y de acuerdo a las experiencias previas que existen en Venezuela, se considera útil establecer una sectorización en las regiones que se indican a continuación, con un listado preliminar de especies recomendadas; **dicha lista no es exhaustiva y debe ser precisada en los proyectos específicos**. Entre estas especies hay varias de la familia Leguminosa (Fabaceae), debido a que frecuentemente son

forrajeras y contribuyen a incorporar nitrógeno al suelo. Además se mencionan los casos en que la madera se puede aprovechar con diversos fines; aunque el objetivo de este plan es realizar actividades forestales para almacenar el CO₂, el uso de los productos dará más aceptación social y rentabilidad a estos proyectos.



Figura 3.27. Áreas decretadas (color rojo) para el establecimiento de plantaciones (1991). Fuente: MARNR, 1991.

Zona Andina: ubicada en los estado Táchira, Mérida y Trujillo, entre los 600 y los 3.000 metros sobre el nivel del mar. Las plantaciones estarían orientadas al restablecimiento de los bosques riparios (ejemplo: ríos Mocotíes, Chama, Motatán, Uribante), recuperación de áreas degradadas y con riesgos de erosión severa, establecimiento de cultivos de café bajo sombra y sistemas silvopastoriles con ganadería de altura. Las especies recomendadas son las siguientes:

- ✓ Aliso (*Alnus acuminata*): es muy frecuente en los bosques riparios andinos, principalmente en la cuenca del Chama, desde de los 1000 hasta los 3000 msnm. Con esta especie ya existen experiencias positivas de plantaciones.
- ✓ Bucare (*Erythrina poeppigiana*): pertenece a la familia Fabaceae y ha sido ampliamente utilizada como sombra para el café.
- ✓ Cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius*): es exótica y pertenece a la familia Fabaceae, en Colombia ha sido ampliamente utilizada como sombra para el café, tiene raíz profunda, rápido crecimiento, es una especie melífera y su madera tiene utilidad en mueblería.
- ✓ Cínaro (*Calycolpus moritzianus*): es muy frecuente en los valles andinos (1000 a 2000 msnm), en condiciones de plena luz; su madera es utilizada para leña y construcciones ligeras por parte de las comunidades locales.
- ✓ Eucalipto (*Eucaliptus globulus*): es exótica y se ha plantado con éxito para recuperar áreas degradadas en los Andes. Su madera podría ser útil para algunas construcciones. Las hojas son muy apreciadas por sus usos medicinales.
- ✓ Pardillo (*Cordia alliodora*): es muy frecuente en bosques montano bajos de la cuenca del Mocotíes, donde existe tradición para la producción de café. Su madera es de calidad intermedia y se puede usar en carpintería.
- ✓ Pomarosa (*Syzygium jambos*): es frecuente en los valles andinos (1000 a 2000 msnm), en condiciones de plena luz o bosques poco densos; su fruta es muy apreciada para el consumo humano y de aves y pequeños mamíferos.

Zona de los Llanos Centrales y Occidentales: estados Apure, Barinas, Portuguesa, Cojedes, Carabobo, Aragua y Guárico. El objetivo sería restablecer las zonas protectoras en los bordes de los ríos, sistemas agroforestales y producir madera para aserrío. Especies recomendadas:

- ✓ Apamate (*Tabebuia rosea*): es una especie frecuente en zonas inundables, su madera es de buena calidad y ya ha dado buenos resultados en plantaciones.
- ✓ Guamo Rabo e Mono (*Inga edulis*): es una Fabaceae y sus frutos son muy apreciados para el consumo humano y de pequeños mamíferos.

- ✓ Higuierón (*Ficus insipida*): es una especie de rápido crecimiento y alcanza grandes dimensiones, se adapta a plena iluminación o bosques con poca cobertura, sus frutos son consumidos por aves y pequeños mamíferos.
- ✓ Palo de Agua (*Symmeria paniculata*): es una especie frecuente en zonas inundables, alcanza grandes dimensiones y su madera es de calidad mediana.
- ✓ Pardillo Negro (*Cordia thaisiana*): ha dado muy buenos resultados en plantaciones, su madera es de muy buena calidad (mueblería) y en su sombra hay experiencias muy exitosas de producción de cacao.
- ✓ Saladillo (*Caraiþa llanorum*): es muy frecuente en terrenos inundables de Apure, su madera es de calidad mediana, se usa para construcciones rústicas (tablas, vigas y columnas), tiene alta durabilidad natural y ha sido exitosa en plantaciones.
- ✓ Samán (*Samanea saman*): pertenece a la familia Fabaceae, es frecuente en los llanos centrales y occidentales, en sistemas silvopastoriles (sombra para el ganado), su madera es de muy buena calidad (mueblería y construcción).
- ✓ Teca (*Tectona grandis*): es exótica y ha sido utilizada con mucho éxito para establecer cercas vivas, aunque también en plantaciones densas; su madera es de excelente calidad para mueblería y construcción, los individuos juveniles se usan como estantillos y madrineros de cercas.

Zona de los Llanos Orientales: estados Guárico, Anzoátegui y Monagas. El objetivo sería dar uso sostenible a millones de ha de sabanas y chaparrales donde, hasta el presente, no hay actividades que permitan una vida digna a la población. En esta región se ha plantado *Acacia mangium* (exótica) con fines industriales y recuperación de áreas degradadas; pero no es aconsejable continuar con esa especie ya que es muy invasora y está llegando a áreas de uso agropecuario y morichales intervenidos. Especies recomendadas:

- ✓ Pino Caribe (*Pinus caribaea* var. *bondurensis*): es exótica y se ha plantado con éxito en toda esta región. La madera es de mediano valor comercial y se usa para aserrío (tablas, tablones, vigas, columnas, machiembreado, mueblería) y como pulpable (pulpa para papel y cartones, tableros de partículas y uso energético).
- ✓ Eucalipto (*Eucalytus urophylla* y *Eucalyptus grandis*): son exóticas y han dado buenos resultados en los llanos orientales. Tienen las siguientes

ventajas con respecto al Pino Caribe: crecimiento más rápido y madera más dura (*E. grandis*: 0.66 gr/cm³).

- ✓ *Paulownia* (*Paulownia* spp.): es un género exótico y algunas informaciones indican que ya se ha plantado en el occidente de Venezuela, pero no hay resultados publicados. Se indicó antes que probablemente este es el género con mayor crecimiento de biomasa en el mundo.
- ✓ *Merey* (*Anacardium occidentale*): es muy frecuente en toda la región y su semilla tiene alto valor de mercado como alimento. En India se ha estimado que una plantación de *Merey* puede llegar a tener una biomasa aérea de 32.7 t/ha (Sundarapandian *et al.*, 2013). Ese valor de biomasa es cercano al que se reporta (37.5 t/ha) para ecosistemas con cobertura de arbusto, cerrada-abierta, de hoja perenne (Mitchard *et al.*, 2013), tal y como ocurre con las sabanas y chaparrales del oriente de Venezuela. Además, se indicó antes, con el jugo del pedúnculo se podría producir etanol.
- ✓ *Sangre de Drago* (*Pterocarpus officinalis*) combinado con *Guamo* (*Inga vera*): ambas son especies frecuentes en los **Morichales**, son leguminosas y se pueden plantar de forma intensiva o en fajas de enriquecimiento, para recuperar esos ecosistemas en los sitios donde exista degradación. La plantación intensiva se podría hacer bajo la modalidad de Sistema Agroforestal con Cacao. La madera de *Sangre de Drago* se puede usar como materia prima para tableros de partículas y paletas de carga.

Zona de Guayana: estados Amazonas y Bolívar. En este caso se atendería a las necesidades de mejorar la productividad ganadera y agrícola en esta región, de suelos oligotróficos, mediante sistemas agroforestales, recuperar la cobertura boscosa en sabanas de origen antrópico (mediante plantaciones puras), incrementar el aprovechamiento de Productos Forestales No Maderables (PFNM) que ya tienen tradición en esta zona y en otros países de Latinoamérica, producir madera para las industria de aserrío, carpinterías y bio-energía. Especies recomendadas:

- ✓ *Aceite* (*Copaifera officinalis*): pertenece a la familia Fabaceae, es muy frecuente en la zona norte del estado Bolívar, en sistemas silvopastoriles (sombra para el ganado); del tronco se extrae el *Aceite de Copaiba*, que es

muy apreciado en los mercados internacionales por sus usos cosméticos y medicinales.

- ✓ Clavellino (*Pentaclethra maculosa*): pertenece a la familia Fabaceae, es muy frecuente en Imataca y los alrededores, se comporta como especie pionera, se adapta bien a suelos degradados, su madera es de buena calidad y de su semilla se extrae un aceite usado como acondicionador para el cabello (Aceite de Pracaxí).
- ✓ Palo Blanco (*Piptadenia leucoxylon*): pertenece a la familia Fabaceae, se comporta como especie pionera, es muy frecuente en conucos abandonados, su madera es de buena calidad (mueblería y artesanías).
- ✓ Pardillo Blanco (*Cordia alliodora*): se comporta como especie pionera, es muy frecuente en conucos abandonados donde forma manchas casi puras, su madera es de calidad mediana (mueblería, artesanías y construcción).
- ✓ Pata e' Danto (*Terminalia amazonia*): es frecuente en Imataca y los alrededores, se adapta a condiciones de plena luz o bosques con poca cobertura.
- ✓ Sarrapia (*Dipteryx odorata*): pertenece a la familia Fabaceae, su madera es de buena calidad y de su semilla se extrae la cumarina que es un producto fundamental en la industria de la perfumería; ha dado muy buenos resultados en plantaciones.
- ✓ Eucalipto (*Eucalyptus urophylla* y *Eucalyptus grandis*): sus características se mencionaron anteriormente.

Conviene resaltar que se han anotado algunas especies no nativas de Venezuela, pero que han dado excelentes resultados en la recuperación de áreas degradadas o la producción de madera y que, con amplios espaciamientos, no compiten de forma perjudicial con la vegetación autóctona. En muchos casos, esas especies exóticas, tienen crecimiento rápido, ayudan a retener el sustrato y a generar un microclima adecuado para el establecimiento y desarrollo de especies autóctonas. Por esas razones, se reitera que dichas especies de origen foráneo no deben ser menospreciadas para la ejecución de este plan y debería probarse la modalidad de plantaciones mixtas. "Las especies de rápido crecimiento, como eucalipto, pino insigne, raulí, canelo, pueden demorar entre 12 y 60 años en alcanzar la capacidad máxima de captura que permite el sitio. Las especies de más lento crecimiento

pueden demorar hasta 400 años en llegar a la capacidad máxima de captura" (Vivanco y González, 2022).

3.7. Aspectos económicos y financieros.

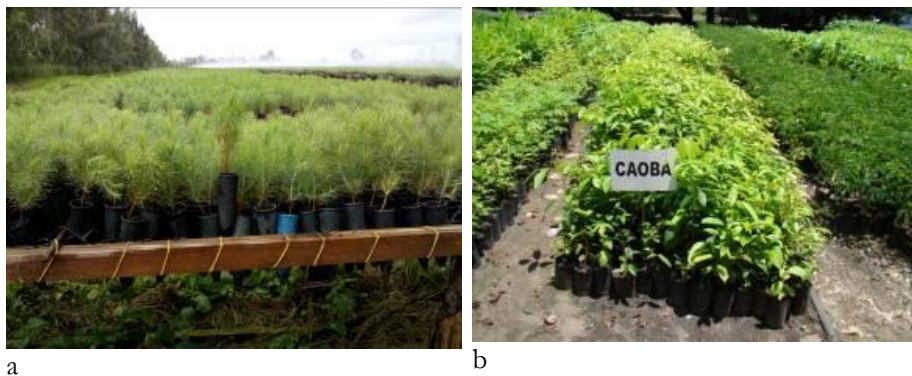
3.7.1. Costos de establecimiento y de mantenimiento.

De acuerdo con Briceño *et al.* (2000), el costo de establecimiento de plantaciones en Venezuela oscila entre 430 y 1.290 US\$/ha. Por su parte, Cabbage *et al.* (2010) presentan un análisis de costos en varios países e indican un mínimo de 525, un máximo de 1.887 y un promedio de 958 US\$/ha. Los datos de CONIF (2013), señalan un mínimo de 922, un máximo de 1.835 y un valor promedio de 1.185 US\$/ha; los costos anuales de mantenimiento estarían entre 100 y 250 US\$/ha. Briceño, Carrero y Paluszny (2020) consideraron que, en Venezuela, el costo de establecimiento está en 685 US\$/ha. Bajo condiciones de muy bajos salarios al personal técnico y a los trabajadores, todos los costos de una plantación pueden disminuir considerablemente (observación personal).

Algunos factores que influyen en esa variabilidad de precios pueden ser los siguientes:

- Se interpreta que, en general, **los costos de otros países son mayores que los de Venezuela debido fundamentalmente a remuneraciones más altas a los trabajadores; en consecuencia, esos proyectos tienen mayores beneficios socioeconómicos, situación deseable en el medio rural donde se ejecutan.**
- Escala de trabajo. Las plantaciones a gran escala (más de 5.000 ha/año en cada sector) permiten el uso de maquinaria, distribuir algunos costos fijos (administración, gerencia, etc) y eso disminuye el costo unitario. En las plantaciones a pequeña escala (menos de 500 ha/año) se dificulta el uso de maquinaria y la incidencia de los costos fijos es elevada.
- La especie utilizada. En Eucalipto y Pino la producción en vivero se hace en tubetes; la Teca se produce en tocones cortos; todo eso permite llevar a campo plantas muy livianas. En el caso de especies autóctonas es frecuente producirlas en bolsas y con ello el peso de cada planta que se lleva a campo frecuentemente supera los 2 kg (Figura 3.28).

- El mantenimiento es costoso durante los primeros 5 años porque los árboles están pequeños y son afectados por las malezas. Después ganan altura, se escapan de las malezas y se reducen los costos. Sin embargo, debe continuar la protección contra plagas, enfermedades e incendios.



a. En tubetes (Pino Caribe)

b. En bolsas

Figura 3.28. Tipo de plantas producidas en viveros.

Para efectos de este documento se tomarán los siguientes precios de referencia, que son muy generales y deberán tener cálculos más precisos en los proyectos detallados:

- Teca: establecimiento 1.000 US\$/ha, mantenimiento 200 US\$/ha/año los primeros 5 años y después 100 US\$/ha.
- Pino: establecimiento 400 US\$/ha, mantenimiento 100 US\$/ha/año los primeros 5 años y después 50US/ha/año.
- Paulownia: establecimiento 1.000 US\$/ha, mantenimiento 200 US\$/ha/año los primeros 5 años y después 100 US\$/ha/año. Esta especie tiene la enorme ventaja de que rebrota después de ser cortada (al menos durante 8 ciclos); por esa razón en el segundo ciclo y siguientes no habrá costos de establecimiento.

3.7.2. Estimaciones de rentabilidad

En este análisis se usaron los modelos de crecimiento indicados en las Figuras 3.20, 3.21 y 3.22. En cada caso se calcularon los siguientes indicadores

de eficiencia económica: Tasa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Neto (VPN), Beneficio Neto Acumulado (BNA), Año de Estabilización Económica (AEE, año a partir del cual el balance total es positivo) y Financiamiento Inicial (FI; monto requerido para sostener el proyecto antes de que los ingresos puedan cubrir los costos). Para hacer esta evaluación se tomaron en cuenta las siguientes premisas:

- Los cálculos se basan en ingresos y egresos por cada hectárea plantada. En este documento no se consideran aclareos; pero los futuros proyectos detallados deben incluir esta opción, porque puede mejorar considerablemente los indicadores económicos.
- El precio de venta de la madera se tomó como producto aserrado en el mercado internacional; la experiencia indica que ésta es la forma de lograr mayor rentabilidad en los proyectos forestales.
- Para facilitar los cálculos, se consideró que el ingreso neto es la mitad del precio internacional, debido a los costos de aprovechamiento y procesamiento; esto implica que se usarían industrias ya establecidas para procesar la madera, las cuales están actualmente paralizadas o trabajando muy por debajo de su capacidad instalada; en trabajos futuros estos aspectos deben ser determinados con mayor precisión. Además, los modelos de crecimiento están fundamentados en el volumen de madera en rolas; pero, cuando se hace el procesamiento a madera aserrada ocurren pérdidas debido a las costaneras (sección semicircular del tronco) y defectos (puntas, huecos, grietas, otros). Para las tres especies se estimó un factor de rendimiento promedio de 50 % (de acuerdo a comunicaciones personales de Carlos Guaramato, Antonia Rojo y José Domingo Duque, ingenieros forestales con amplia experiencia en el aprovechamiento de madera). **Debido a estas dos razones, los cálculos en este documento se hacen con la cuarta parte del precio de venta internacional de la madera aserrada.**
- El precio de venta del Pino Caribe es 320 US\$/m³ CIF (comunicación personal Juan Vicente Gil).
- La Teca ha alcanzado un precio algo superior a 4.000 US\$/m³ CIF (OIMT, 2021) en USA y Japón. Pero, muy posiblemente, esa es madera de muy buena calidad y con muy poca albura (la sección del tronco que tiene madera clara), lo cual es requisito en esos mercados internacionales. La Teca que se está aprovechando en Venezuela es joven y su porción de

albura es considerable; se cree que no llega a las normas de madera de alta calidad de los países desarrollados. Por esa razón, en este documento se usará un precio de venta de 2.000 US\$/m³.

- El precio de venta de la Paulownia es 700-1.100 US\$/m³ (<http://eco-investments.ru/plantation-for-commercial-wood.html>). En este documento se considera un precio promedio de venta de 900 US\$/m³.
- De igual forma, los modelos de crecimiento indican que la máxima capacidad del sitio se ocupa a los 35 años para Pino y Teca; ese será el turno (edad de aprovechamiento) asumido para ambas especies. En Paulownia la capacidad de sitio se alcanza a los 7 años; se asumirá un turno de 11 años para intentar vender dos bonos de carbono.
- Tal y como se indicó en el Punto 1.3, el precio futuro estimado promedio para los créditos de carbono estará entre 5 y 10 US\$/tCO₂; los análisis se hacen con ambos precios. Esas ventas se hacen cada 5 años.
- Al calcular los ingresos totales (madera + carbono) al final del turno, no se incluye el ingreso del carbono en ese año, porque se supone que si se tumba la madera ese será el único ingreso en ese momento.
- Para todas las especies se hicieron evaluaciones de acuerdo a tres escenarios de ingresos: sólo madera, sólo créditos de carbono, totales (ambos bienes-servicios). Para el cálculo de VPN se usaron tasas de oportunidad de 10, 12 y 14 %. El sector forestal no tiene un tratamiento diferenciado por el Banco Central de Venezuela; de acuerdo a esa institución (<https://www.bcv.org.ve/>), la tasa promedio de interés aplicable a los préstamos del sector agrícola, entre agosto de 2008 y enero de 2020, es 13,4%; no hay información más reciente.

Los resultados se muestran en la Figura 3.29, Cuadro 3.4 y en el Anexo; con ellos se pueden hacer las siguientes apreciaciones:

- a. El extraordinario crecimiento de Paulownia hace que esas plantaciones tengan indicadores de rentabilidad muy elevados: TIR entre 50 y 87 %, VPN entre 9.000 y 55.000 US\$/ha.
- b. Las plantaciones de Teca tienen valores de TIR entre 9 y 20 %. Los valores de VPN son más altos cuando el precio del carbono es 10 US\$/t, llegando a 5.672 US\$/ha (con tasa de oportunidad de 10%); pero el VPN es negativo cuando la tasa de oportunidad es 14 % (sólo

madera) o cuando el precio del carbono es 5 US\$/t y sólo se vende ese servicio.

- c. Las plantaciones de Pino tienen los valores de rentabilidad más bajos, respecto a los escenarios estudiados: TIR entre 4 y 11 %; en general el VPN es negativo, sólo es positivo cuando se vende la madera y el carbono (10 US\$/t) y la tasa de oportunidad es 10 %. Se interpreta que esto es el reflejo del lento crecimiento de esta especie y de su bajo precio de mercado. Cuando el VPN es negativo, indica que el valor presente de los egresos es superior al valor presente de los ingresos; es decir, que los dineros invertidos en el proyecto rentan a una tasa inferior a la tasa de interés de oportunidad; por tanto, el proyecto no es factible y debería rechazarse.
- d. En cualquier combinación, los valores de rentabilidad son más altos cuando se considera la venta conjunta de madera y de carbono o cuando la tasa de oportunidad utilizada (para calcular el VPN) es más baja (10 %).
- e. El precio del carbono de 5 US\$/tCO₂ genera una VPN negativa en todos los escenarios de Pino o cuando se vende sólo el carbono en Teca.
- f. En todas las especies, cuando se vende sólo el carbono a un precio de 10 US\$/tCO₂ eso genera valores de TIR más altos que la venta de sólo madera. Con el precio de 5 US\$/tCO₂ eso ocurre sólo en Paulownia.
- g. Al final del turno, el beneficio neto de la plantación es mayor con madera que con CO₂ (aislados), en todos los escenarios.
- h. Considerando la venta conjunta, el BNA del Pino estaría entre 15.200 y 18.500 US\$/ha; obviamente es más bajo con el precio de 5 US\$/tCO₂. En Teca y Paulownia los BNA son más similares y están entre 130.000 y 156.000 US\$/ha.
- i. Un bajo precio del carbono hace que el año de estabilización económica (AEE) sea más avanzado en Teca y Pino (15 y 25 años respectivamente); pero los montos de financiamiento inicial (FI) son ligeramente más bajos (promedio 1.368 US\$/ha). Aparentemente, esto es el efecto combinado del tiempo y de la venta de carbono, que se haría cada 5 años; al incluir estos ingresos en más oportunidades

(debido a un mayor AEE), disminuyen las cantidades de financiamiento inicial. En Paulownia, los precios del carbono no influyen en el AEE ni en los valores de FI (5 años y 1.800 US\$/ha).

- j. En el escenario de sólo vender madera, el proyecto se estabiliza al final del turno (35 años) cuando se aprovechan los árboles de Pino o Teca, y 11 años en Paulownia. Esto es conocido en los proyectos de plantaciones forestales y es una de sus desventajas; son inversiones que se recuperan a largo plazo. Pero, si se incluyen los créditos de CO₂, la estabilización ocurre muchos años antes, de acuerdo a lo que se indicó en el punto anterior.
- k. Como síntesis general podría decirse que una combinación de crecimiento lento, bajo valor de mercado de la madera y bajo valor del carbono (caso: Pino) generan indicadores económicos deficientes que harían el proyecto de plantaciones no rentable. Si los precios de venta de la madera y del CO₂ son medianos o altos, o la especie tiene elevadas tasas de crecimiento, los proyectos podrían ser atractivos. Si una especie tiene una tasa de crecimiento muy alta (caso: Paulownia), seguramente el proyecto será rentable en cualquier escenario.
- l. En esta evaluación no se están tomando en cuenta los **costos de validación del proyecto** mediante auditores externos independientes (mencionados en el punto 1.3). De acuerdo a Chenost *et al.* (2011) estos costos oscilan **entre 20.000 y 50.000 € en la etapa de factibilidad y lo mismo ocurre durante la etapa de operación cada 5 años**; de forma unitaria, estos costos varían **entre 1,5 y 3 €/tCO₂**, con lo cual resultan muy afectados los proyectos pequeños. En los proyectos detallados, que se vayan a ejecutar en Venezuela, estos costos deben ser considerados.
- m. La bibliografía confirma que, en la mayoría de los casos, **los mejores rendimientos económicos se obtienen cuando las plantaciones forestales se manejan para maximizar tanto la producción de madera como el secuestro de carbono**. Chenost *et al.* (2011) indican que "... los créditos de carbono permiten diversificar las fuentes de los ingresos de los proyectos ... en el caso de los proyectos de (re)forestación, a menudo los créditos son generados un poco antes que los otros productos, lo que mejora la rentabilidad de los proyectos, aún si continúan siendo muy minoritarios con respecto a

los ingresos tradicionales ... la inversión forestal bien manejada puede producir TIR entre el 10 y el 20 %"; estos autores reportan una TIR de 15-18 % para un proyecto de reforestación en Colombia de 5.000 ha con Melina, Teca y Ceiba Roja (exóticas) y 29 % para un proyecto de 4.226 ha en RD Congo con Eucalipto, Acacia, Pinos y especies locales. En Uganda, Kiyingi *et al.* (2016) demuestran que el VPN (US\$/ha) con créditos de carbono es mayor al obtenido con sólo madera: 2.540 vs 1.543 en Eucalipto y 1.814 vs 1.390 en Pino; también resaltan que cuando los costos promedio de establecimiento de un contrato MDL superan 500 US\$/ha y 1000 US\$/ha para Pino y Eucalipto, respectivamente, no es económicamente viable participar en dicho programa de compensación de carbono forestal. Hirigoyen *et al.* (2021) mencionan que el VPN (con una tasa de descuento de 8 %, precios de 10 US\$/tCO₂ y 65 US\$/m³ de madera) fue 1.382 US\$/ha en una plantación de Eucalipto en Uruguay, con turnos de 10 años. Con estas referencias, se deduce que las tasas de rentabilidad de Pino y Teca obtenidas en el presente análisis no son extrañas, de acuerdo a lo reportado en proyectos similares de otros países; los resultados de Paulownia sí son extraordinarios y deben ser sometidos a cálculos más detallados en los proyectos específicos posteriores.

- n. Los resultados obtenidos en la presente evaluación no consideran los otros beneficios ambientales y socio-económicos de las plantaciones, tales como: control de erosión, regulación del régimen hídrico, aporte de empleo, etc. Posiblemente, con técnicas de economía ambiental se podría asignar valor económico a estos aspectos y de esa manera deberían aumentar los indicadores de rentabilidad. Esto es especialmente importante para el Pino y Paulownia, porque esas plantaciones estarían en áreas que mayoritariamente no tienen uso ni beneficios para la población; este proyecto sería una de las pocas opciones de desarrollo sostenible en las sabanas de oriente. Esto también indica que la opción de sólo aprovechar el sumidero de CO₂ (sin aprovechar ni vender la madera) tiene muy poca viabilidad social; eso significaría la pérdida de oportunidades de empleo y desarrollo industrial y comercial aguas abajo del proyecto. Debe recordarse que, si cada área se replanta inmediatamente después del aprovechamiento, será muy temporal y local la disminución de los servicios de control de erosión y regulación del régimen hídrico.

- o. Los indicadores de rentabilidad que se han calculado serán más elevados si: la tasa de crecimiento de las plantaciones es más alta, los costos de establecimiento y mantenimiento son más bajos, las industrias son más eficientes y aumenta el rendimiento de madera aserrada, y los precios de venta de la madera y de los créditos de carbono son más altos.

Cuadro 3.4. Resumen de indicadores económicos en plantaciones forestales. FI: financiamiento inicial y años. AEE: año de estabilización económica. BNA: beneficio neto acumulado. Cálculos propios a partir del análisis detallado que está en el Anexo

Precio del Carbono (US\$/tCO ₂)	Especie	FI (US\$/ha) y años		BNA (US\$/ha), al final del turno		
		(Madera + Carbono)	AEE (año)	Madera	Carbono	Ambos
5	Pino	1.245 (14)	25	12.000	2.020	15.240
	Teca	1.490 (9)	15	120.000	6.545	129.610
	Paulownia	1.800 (4)	5	106.625	22.250	131.275
10	Pino	1.140 (14)	20	12.000	6.440	18.480
	Teca	1.800 (4)	10	120.000	18.090	139.220
	Paulownia	1.800 (4)	5	106.625	47.000	156.025

Se resalta que los proyectos deberían obtener el certificado de sostenibilidad de FSC o PEFC. Además, no se debe interpretar este documento como una propuesta de ordenación territorial y/o de cambio de uso de la tierra; eso es un procedimiento aparte y allí se deben asignar las áreas que se pueden plantar y las que deben permanecer con sus ecosistemas naturales. La determinación de cuáles sabanas son naturales y cuáles son de origen antrópico escapa a los objetivos de este documento.

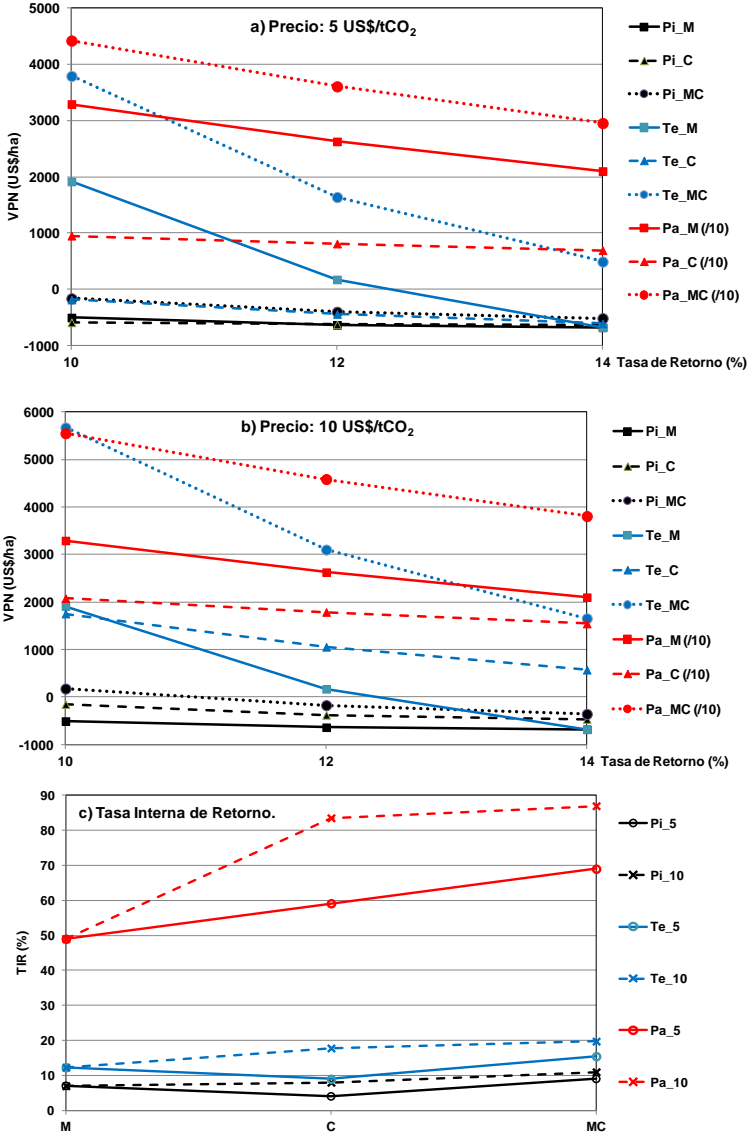


Figura 3.29. Análisis de sensibilidad para la eficiencia económica de plantaciones forestales de mitigación. Especies: Pi (Pino), Te (Teca), Pa (Paulownia). Opciones: M (sólo madera), C (sólo CO₂), MC (madera y CO₂). Por razones de escala, los valores reales de VPN de Paulownia se dividieron entre 10.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En todo el mundo se están ejecutando proyectos, para financiar la mitigación del cambio climático, que implican inversiones de muchos miles de millones de dólares. Sin embargo, no se ha logrado disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), el consumo de combustibles fósiles sigue en ascenso, las tendencias indican que pronto se alcanzará un incremento de temperatura de 1,5°C (con respecto a la época preindustrial) y puede que siga aumentando. En 2019, con 300×10^6 tCO₂/año, Venezuela ocupó el puesto número 30 entre los países con mayor cantidad de emisiones totales, y las emisiones per cápita (10,5 tCO₂/año/persona) fueron las más altas de Latinoamérica y superiores al promedio mundial (6,5 tCO₂/año/persona).

Debido a sus graves consecuencias para el planeta y para la humanidad, atenuar el cambio climático es una total necesidad. Las metas de emisión neta cero implican una reducción del 90 % de las emisiones de GEI; esto significa reducir el uso de combustibles fósiles mediante una "descarbonización de la energía" utilizando opciones limpias y renovables como biocombustibles, hidrógeno renovable, energía solar, energía eólica, energía hidráulica y energía geotérmica. Hay una carrera muy intensa en muchos países para desarrollar estas tecnologías y disminuir el consumo de hidrocarburos; es muy posible que la era del petróleo llegue a su fin o se reduzca significativamente en las próximas décadas.

Es **imposible** que, mediante la fotosíntesis, los árboles puedan absorber todo el CO₂ que se está incorporando a la atmósfera. En el caso de Venezuela sería más de un millón de hectáreas de plantación forestal cada año, en una combinación de Pino Caribe y Teca; eso es irrealizable. Por eso, la emisión neta cero ha planteado un límite de 10 % de las emisiones que serán compensadas mediante plantaciones forestales u otras formas de sumidero; con esta opción, la cuota de Venezuela sería 96.300 ha/año. Eso significa que las 155.000 ha en el período 2022-2030, que se indican en la Contribución Nacionalmente Determinada, son insuficientes para lograr mitigar el 10 % de las emisiones; de cualquier forma, ese documento no explica cómo se calculó esa cuota.

Pero, las plantaciones forestales tienen aspectos controversiales; en muchos foros se pretende que cumplan simultáneamente con objetivos muy diferentes: alta diversidad florística (excluyendo especies exóticas), servicios

ecosistémicos (control de erosión, del régimen hídrico, hábitat para la fauna, etc), altos rendimientos en el crecimiento, alta rentabilidad y permanencia intocable *at infinitum* de la plantación (descartando el aprovechamiento de madera para aserrío, que podría mantener el almacenamiento de CO₂ por décadas adicionales). Lograr todas esas metas a la vez es muy difícil; tal vez eso ha generado que las plantaciones forestales destinadas a la compensación de emisiones no se han extendido a gran escala y el sector forestal está a la saga (en el contexto mundial) de las opciones de mitigación del cambio climático (apenas 0,4 % del total de inversiones del Mecanismo de Desarrollo Limpio); el precio promedio de los bonos de carbono del sector forestal está actualmente en 2,4 US\$/tCO₂ y en otros proyectos llega a 102,5 US\$/tCO₂.

En todo caso, las cantidades de dinero implicadas en la lucha contra el cambio climático son inmensas; eso representa una muy buena oportunidad para capturar algunos fondos que pueden contribuir con el desarrollo del país y debe cumplirse la meta de lograr al menos un 10 % de captura del CO₂ que está en la atmósfera.

Venezuela tiene 46.200.000 ha de bosques, pero se están perdiendo a un ritmo de 127.000 ha/año; eso amerita actividades de protección que tal vez podrían obtener financiamiento de proyectos REDD+. Además, existe una gran experiencia en plantaciones forestales; especies nativas como el Saquisaqui han logrado un almacén de 250 tCO₂/ha y la Teca (exótica) puede llegar a 387 tCO₂/ha, en ambos casos en suelos fértiles de los llanos occidentales. En suelos oligotróficos del oriente, el Pino Caribe alcanza a 236 tCO₂/ha. La mayor parte de los reportes de plantaciones se refieren a especies que tienen valor comercial; la especie más valiosa es la Teca, cuya madera aserrada alcanza precios de 4.000 US\$/m³ en el mercado internacional; el Pino Caribe se vende en 320 US\$/m³. Algunas informaciones extraoficiales señalan que ya se ha plantado Paulownia en Venezuela, pero no existen reportes técnicos sobre ese asunto; la bibliografía indica que, en otros países, esa especie podría lograr un almacén de 2.500 tCO₂/ha.

El análisis económico y financiero demuestra que, en general, las plantaciones de Pino Caribe tienen baja rentabilidad. Las plantaciones de Teca y Paulownia son muy rentables, con valores de TIR de hasta 20 % y 87 % respectivamente. Cuando se vende la madera y los bonos de carbono, se logran mejores indicadores. La alternativa de sólo vender bonos de CO₂ (sin aprovechar la madera), además de tener menores tasas de rentabilidad, tiene muy poca viabilidad social porque se pierden potenciales oportunidades de

empleo y desarrollo aguas abajo del proyecto.

Se recomienda que las plantaciones de mitigación del CO₂ en Venezuela incluyan una **cartera variada de tipos de proyectos**:

- ✓ Plantaciones puras de alto rendimiento (inclusive con especies exóticas), en zonas planas.
- ✓ Plantaciones mixtas, con especies nativas, en zonas planas y en alta pendiente.
- ✓ Plantaciones mediante sistemas agroforestales que puedan aportar alimentos a la población.

Se recomienda que se incluyan los siguientes proyectos forestales en las alternativas de descarbonización de la energía, orientados a mercados nacionales e internacionales:

- Producción de briquetas y pellets con madera de pequeñas dimensiones (pulpable) y desperdicios de las plantaciones de Pino Caribe.
- Instalación de una planta termoeléctrica, alimentada con madera de Pino Caribe, en la Faja Petrolífera del Orinoco, que incluya la captación del CO₂ producido en planta y su inyección en pozos petroleros abandonados (sistema de emisiones negativas).
- Producción de biocombustible a partir del Aceite de Palma Africana.
- Producción de biocombustible a partir del pedúnculo del Merrey.

Con todo lo antes expuesto se hace evidente que en Venezuela existen muy buenas oportunidades, y experiencia, para el desarrollo de proyectos forestales orientados a la mitigación del cambio climático. Es necesario que los organismos del estado se aboquen lo antes posible al diseño de los proyectos específicos, con miras a lograr los financiamientos correspondientes, para lo cual existen múltiples alternativas en el ámbito internacional.

5.- REFERENCIAS

Albarran, V; Zerpa F. 1992. Modelos matemáticos para generar tablas de volumen y peso verde en plantaciones de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* del oriente

- venezolano. Boletín Técnico # 5. C.V.G.PROFORCA, Edo. Monagas.
- Baldizán, A., & Chacón, E. (2007). Utilización del recurso bosque de los llanos centrales con rumiantes. In I Simposio Tecnologías Apropriadas para la Ganadería de los Llanos de Venezuela. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Valle de la Pascua, Venezuela (pp. 79-109).
- Bello, N. 1996. Relación entre la productividad del bosque, contenido de nitrógeno y la textura del suelo en varias zonas de vida de Venezuela. Tesis de Maestría, Centro de Estudios Forestales de Postgrado, Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Los Andes. Mérida.
- Bernal, B; Murray, L; Pearson, T. 2018. Global carbon dioxide removal rates from forest landscape restoration activities. *Carbon Balance and Management*, 13(1): 1-13.
- Biah, I., Guendehou, S., Guoussanou, C., Kaire, M., Sinsin, B. A. 2018. Allometric models for estimating biomass stocks in cashew (*Anacardium occidentale* L.) plantation in Benin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB)*, 84: 16-27.
- Bonan, G. 2008. Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests. *Science* 320 (5882): 1444-1449.
- Brack, D. 2017. The impacts of the demand for woody biomass for power and heat on climate and forests. London: Chatham House, the Royal Institute of International Affairs. Disponible en: <https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/publications/research/2017-02-23-impacts-demand-woody-biomass-climate-forests-brack-final.pdf>.
- Briceño, M., Arends, E., Lozada, J., Rivas, F., Infante, A., Petit, J., Márquez, L., Rangel, M., Carrasquero, R., Aponte, C y Valderrama, A. 2000. Plan para incrementar la cobertura forestal en Venezuela. Informe presentado a INTEVEP. Instituto Forestal Latinoamericano. Mérida, 3 volúmenes.
- Brohé, A. 2014. Whither the CDM? Investment outcomes and future prospects. *Environment, development and sustainability*, 16(2), 305-322.
- Brown, S; Lugo, A. 1982. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle. *Biotropica* 14:161-187.
- Brown, S; A. Lugo; J. Chapman. 1986. Biomass of tropical tree plantations and its implications for the global carbon budget. *Canadian Journal of Forest Research* 16: 390-394.

- Brown, S., Sathaye, J., Cannell, M., Kauppi, P. E. 1996. Mitigation of carbon emissions to the atmosphere by forest management. *The Commonwealth Forestry Review*, 75(1): 80–91.
- Brown, S., Sathaye, J., Cannell, M., & Kauppi, P. E. 1996. Mitigation of carbon emissions to the atmosphere by forest management. *The Commonwealth Forestry Review*, 80-91.
- Bukoski J, Cook-Patton S, Melikov C, *et al.* 2022. Rates and drivers of aboveground carbon accumulation in global monoculture plantation forests. *Nature Communications*, 13(1), 4206. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31380-7>.
- Carrero Gámez, O. E. 2012. Effects of Intensive Silviculture on the Productivity of Eucalyptus in Venezuelan Llanos and a Probabilistic Analysis of its Profitability. PhD Thesis. North Carolina State University.
- Carrero Niño, O; Lozada, J.R; Plaza, Y; Bastidas, T; Noguera, O; Mendoza, S; Contreras, C. 2022. La necesidad de frenar las deforestaciones y conservar los bosques en Venezuela. *Boletín de la Academia Nacional de Ingeniería y Hábitat*. En prensa.
- Castro López, M. 2016. El principio del fin de la era del petróleo. <https://alponientecom/el-principio-del-fin-de-la-era-del-petroleo/>.
- Chave J, Réjou-Mechain M, Búrquez A, Chidumayo E, Colgan M, *et al.*, 2014. Improved allometric models to estimate the above-ground biomass of tropical trees. *Glob Change Biol* 20(10): 3177–3190.
- Chenost, C., Gardette, Y. M., Demenois, J., Grondard, N., Perrier, M., & Wemaëre, M. 2011. Los mercados de carbono forestal. PNUMA, Nairobi.
- Clima21. 2022. Bosques en desaparición: Deforestación en Venezuela 2016-2021. Disponible en: <https://clima21.net/informes/bosques-en-desaparicion-deforestacion-en-venezuela-2016-2021/>.
- CONIF. 2013. Estudio de costos de las especies forestales beneficiarias del CIF, de acuerdo con la Resolución 080 de 2013. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal - CONIF. Bogotá. 156 p.
- Contreras, N. 2023. Exceso de aceite crudo importado pone en riesgo la producción y comercialización de la palma aceitera en Venezuela. Disponible en: <https://hispanopost.com/>.
- Cook, R; Binkley, D; Mendes, J; Stape, J. 2014. Soil carbon stocks and forest biomass following conversion of pasture to broadleaf and conifer plantations in

- southeastern Brazil. *Forest Ecology and Management*, 324: 37-45.
- Costea, M; Danci, M; Ciulca, S; Sumalan, R. 2021. Genus *Paulownia*: versatile woodspecies with multiple uses - A review. *Life Science and Sustainable Development*, 2(1): 32-40.
- Cowie, A., Berndes, G., Junginger, M., Ximenes, F. 2017. Response to Chatham House report “woody biomass for power and heat: impacts on the global climate”. Disponible en: https://gallery.mailchimp.com/f902b070150dd13840a31e93e/files/d0ce8967-0aba-44e8-9bb5-5dabec3c45ea/Chatham_House_response_supporting_doc.pdf
- Cubbage, F; Koesbandana, S; Mac Donagh, P; Rubilar, R; Balmelli, G; Olmos, V; *et al.* 2010. Global timber investments, wood costs, regulation, and risk. *Biomass and Bioenergy*, 34(12): 1667-1678.
- Díaz-Cruz, M. 2016. Bonos de carbono: un instrumento en el sistema financiero internacional. *Revista Libre Empresa*. 13(1): 11-33.
- Divya, M; Mathuram, I; Manivasakan, S; Ravi, R; Baranidharan, K; Selvanayaki, S; Packialakshmi, M. 2022. Assessing the carbon sequestration potential of eucalyptus plantations of different ages. *The Pharma Innovation Journal* 11(4): 844-849.
- Dungani, R., Aditiawati, P., Aprilia, S., Yuniarti, K., Karliati, T., Suwandhi, I., Sumardi, I. 2018. Biomaterial from oil palm waste: properties, characterization and applications. *Palm Oil*, 31, 1-6.
- Eguren, L. 2004. El mercado de carbono en América Latina y el Caribe: balance y perspectivas. Naciones Unidas. Santiago de Chile.
- Estrada, M. 2017. Introducción a los mercados de carbono forestal. Disponible en: <https://www.un-redd.org/document-library/introduccion-los-mercados-de-carbono-forestal>.
- European Commission. 2019. Going Climate-Neutral by 2050. Disponible en: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/92f6d5bc-76bc-11e9-9f05-01aa75ed71a1>
- European Commission. 2021. Use of international credits. 14 July 2021. Disponible en: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/use-international-credits_en.
- FAO. 2021. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020. Roma. 170 p.
- Federici, S., Tubiello, F. N., Salvatore, M., Jacobs, H., & Schmidhuber, J. 2015. New estimates of CO2 forest emissions and removals: 1990–2015. *Forest Ecology*

and Management, 352, 89-98.

- Gilbertson, T., & Reyes, O. 2010. El mercado de emisiones: cómo funciona y por qué fracasa. Carbon Trade Watch.
- Granados-Hernández, E., Bravo-Álvarez, H., Sosa-Echeverría, R., López-Andrade, X., García-Landa, C., & Sánchez-Álvarez, P. 2015. Consumo de energía y emisiones de bióxido de carbono del sector refinación de petróleo en México de 2015 a 2030. Ingeniería, investigación y tecnología, 16(4): 503-513.
- Haysom K; Murphy S. 2004. The status of invasiveness of forest tree species outside their natural habitat: a global review and discussion paper. For. Genet. Resour, 31, 5-8.
- Hirigoyen A; Acuna M; Rachid-Casnati C; Franco J; Navarro-Cerrillo R. 2021. Use of Optimization Modeling to Assess the Effect of Timber and Carbon Pricing on Harvest Scheduling, Carbon Sequestration, and Net Present Value of Eucalyptus Plantations. Forests 12(6). <https://doi.org/10.3390/f12060651>
- Houghton J, Meira Filho L, Lim B, Tréanton K, Mamaty I, *et al.*, 1997. Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero: versión revisada en 1996. IPCC, OCDE, AIE, United Kingdom.
- Hueck, K. 1960. Mapa de la Vegetación de la República de Venezuela. Instituto Forestal Latinoamericano. Mérida Venezuela.
- Instituto Nacional De Bosques. 2017. Pino caribe (*Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Sénécl.) W. H. Barrett & Golfari). Paquete Tecnológico Forestal. Guatemala, INAB.
- IPCC. 1996. Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto. Disponible en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/spanish.html>.
- IPCC. 2001. Climate Change 2001. Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Vol. 3). Metz, B., Davidson, O., Swart, R., Pan, J. (Eds.).Cambridge University Press.
- IPCC. 2018. Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2022/06/SR15_Full_Report_LR.pdf

- IPCC. 2019. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 4: Forest Land. Switzerland.
- IPCC. 2022a. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>.
- IPCC. 2022b. Climate Change 2022. Mitigation of Climate Change. Working Group III Contribution to the IPCC Sixth Assessment Report (Ar6). Disponible en: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_Full_Report.pdf.
- Ipinza, R; Barros, S (editores). 2011. El cambio climático, los bosques y la silvicultura. Instituto Forestal (INFOR), Santiago de Chile. 139 p.
- Kainou, K. 2022. Collapse of the Clean Development Mechanism scheme under the Kyoto Protocol and its spillover: Consequences of ‘carbon panic’. Disponible en: <https://cepr.org/voxeu/columns/collapse-clean-development-mechanism-scheme-under-kyoto-protocol-and-its-spillover>.
- Kalaycioglu, H., Deniz, I., Hizirolu, S. 2005. Some of the properties of particleboard made from Paulownia. *Journal of Wood Science*, 51(4): 410-414.
- Kiyingi I, Edriss A, Phiri A, Mukadasi B, Tumwebaze S, Agaba H. 2016. The economics of the carbon sequestration potential of plantation forestry in south-western Uganda. *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, 78(3): 201-208.
- Lugo, A; Brown, S; Chapman, J. 1988. An analytical review of production rates and stemwood biomass of tropical forest plantations. *Forest Ecology and Management*, 23(2-3), 179-200.
- Maderas del Orinoco. 2014. Plan de corta 2014 – 2019 en plantaciones forestales de Maderas del Orinoco al sur de los estados Anzoátegui y Monagas. Uverito, estado Monagas. Mimeografiado.
- Malhi, Y. 2010. The carbon balance of tropical forest regions, 1990-2005. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 2(4): 237-244.
- MARN. 2001. Boletín Estadístico Forestal No. 3 - Año 2000. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. Caracas.
- Meijaard, E., Garcia-Ulloa, J., Sheil, D., Wich, S.A., Carlson, K.M., Juffe-Bignoli, D., and Brooks, T.M. (eds.). 2018. Oil palm and biodiversity. A situation analysis by the IUCN Oil Palm Task Force. Gland, Switzerland.

- Miccolis, A., Robiglio, V., Cornelius, J. P., Blare, T., Castellani, D. 2019. Oil palm agroforestry: fostering socially inclusive and sustainable production in Brazil. In: Jezeer, R; Pasiecznik, N. (eds.). Exploring inclusive palm oil production. Tropenbos International: Wageningen, the Netherlands. pp. 55-62.
- Mitchard, E. T., Saatchi, S. S., Baccini, A., Asner, G. P., Goetz, S. J., Harris, N. L., Brown, S. 2013. Uncertainty in the spatial distribution of tropical forest biomass: a comparison of pan-tropical maps. Carbon Balance and Management, 8(1): 1-13.
- MITECO. 2020. Estrategia de descarbonización a largo plazo 2050. Vicepresidencia Cuarta del Gobierno de España, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/prensa/documentoelp_tcm30-516109.pdf
- Montagnini, F; Porras, C. 1998. Evaluating the role of plantations as carbon sinks: an example of an integrative approach from the humid tropics. Environmental Management, 22(3), 459.
- MPPA. 2010. Estrategia Nacional para la Conservación de la Diversidad Biológica de la República Bolivariana de Venezuela. Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. Caracas.
- Naciones Unidas. s/f. Llegar a las emisiones netas cero: el mundo se compromete a tomar medidas. Disponible en: <https://www.un.org/es/climatechange/net-zero-coalition#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20indica%20el%20%22cero%20neto,el%20oc%C3%A9ano%20y%20los%20bosques.>
- OIMT. 2021. Reseña bial y evaluación de la situación mundial de las maderas 2019-2020. Organización Internacional de las Maderas Tropicales. Yokohama, Japón.
- OPEC. 2022. Monthly Oil Market Report – October 2022. Organization of the Petroleum Exporting Countries. Disponible en: <https://momr.opec.org/pdf-download/>.
- Ortega S, García A, Ruíz C, Sabogal J, Vargas J (eds.). 2010. Deforestación Evitada. Una Guía REDD+ Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Conservación Internacional Colombia; Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF); The Nature Conservancy; Corporación Ecoversa; Fundación Natura; Agencia de Cooperación Americana (USAID); Patrimonio Natural - Fondo para la Biodiversidad y Áreas Protegidas y Fondo para la Acción Ambiental. Bogotá. 72p.

- Pacheco, C; Aguado, I; Mollicone, D. 2011. Las causas de la deforestación en Venezuela: un estudio retrospectivo. *Biollania*, 10(1): 281-292.
- Pereira, B. 2017. Obtenção de etanol a partir de caju (*Anacardium occidentale* L.). Tesis de Grado. Curso de Engenharia de Energia, Universidade de Brasília. Disponible en: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/20104/1/2017_BeatrizPereiradaCosta.pdf.
- Pozoga, M., Olewnicki, D., Jabłońska, L. 2019. In Vitro propagation protocols and variable cost comparison in commercial production for *Paulownia tomentosa* × *Paulownia fortunei* hybrid as a renewable energy source. *Applied Sciences*, 9(11). doi:10.3390/app9112272.
- Proskurina, S., Junginger, M., Heinimö, J., Tekinel, B., & Vakkilainen, E. 2019. Global biomass trade for energy—Part 2: Production and trade streams of wood pellets, liquid biofuels, charcoal, industrial roundwood and emerging energy biomass. *Biofuels, bioproducts and biorefining*, 13(2), 371-387.
- Quintero, M. A., Jerez, M., Flores, J. 2012. Modelo de crecimiento y rendimiento para plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.) usando el enfoque de espacio de estados. *Ciencia e Ingeniería*, 33(1): 33-41.
- Ramos, H. M. N., Vasconcelos, S. S., Kato, O. R., Castellani, D. C. 2018. Above-and belowground carbon stocks of two organic, agroforestry-based oil palm production systems in eastern Amazonia. *Agroforestry Systems*, 92(2): 221-237.
- Reinhart K, Grubert E. 2022. How Much New Forest Land Would it Take to Offset a Coal Plant's Greenhouse Gas Emissions? An Engineering Case Study of Georgia's Plant Scherer. *Case Studies in the Environment*, 6(1). DOI: <https://doi.org/10.1525/cse.2022.1552208>.
- Repsol. 2020. Plan estratégico 2021-2025. Acelerando en la transición. Disponible en: <https://www.repsol.com/es/conocenos/estrategia-2025/index.cshtml>.
- Rogelj, J; Meinshausen, M; Schaeffer, M; Knutti, R; Riahi, K. 2015. Impact of short-lived non-CO2 mitigation on carbon budgets for stabilizing global warming. *Environmental Research Letters*, 10(7). doi:10.1088/1748-9326/10/7/075001.
- SBTi. 2021. SBTi Corporate Net-Zero Standard. Disponible en: <https://sciencebasedtargets.org/resources/files/Net-Zero-Standard.pdf>
- Shrestha, A., Eshpeter, S., Li, N., Li, J., Nile, J. O., & Wang, G. 2022. Inclusion of forestry offsets in emission trading schemes: insights from global experts. *Journal of Forestry Research*, 33(1), 279-287.

- Simondi, L. 2014. Mercado de bonos de carbono en América Latina y Caribe. Trabajo Final de Posgrado. Universidad de Buenos Aires. Disponible en: http://bibliotecadigital.econ.uba.ar/download/tpos/1502-0721_SimondiL.pdf
- Simonet, G; Atmadja, S; Agrawal, A; Bénédet, F; Cromberg, M; de Perthuis, C; *et al.* 2020. ID-RECCO, International Database on REDD+ projects and programs: Linking Economics, Carbon and Communities. version 4.1. Disponible en: <https://www.reddprojectsdatabase.org>.
- Sullivan, K; Diemert, A; Cordova, C; *et al.* 2021. Situación y tendencias de los mercados de carbono de cumplimiento y voluntarios en América Latina. Disponible en: https://greenfinancelac.org/wp-content/uploads/2021/10/201129_IDB_Compliance_Voluntary_Paper-ES-online.pdf.
- Sundarapandian SM, Amritha S, Gowsalya L, Kayathri P, Thamizharasi M, Javid Ahmad Dar, Srinivas K, Sanjay Gandhi D. 2013. Estimation of Biomass and Carbon Stock of Woody Plants in Different Land-Uses. *Forest Res* 3: 115. doi:10.4172/2168-9776.1000115.
- The World Bank. 2021. CO2 emissions (metric tons per capita). Disponible en: <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.PC>.
- UNFCCC. 2002. Informe de la conferencia de las partes sobre su séptimo período de sesiones, celebrado en Marrakech, del 29 de octubre al 10 de noviembre de 2001. Disponible en: <https://unfccc.int/es/node/2518>.
- UNFCCC. 2015. Acuerdo de París. United Nations Framework Convention on Climate Change. Disponible en: https://unfcccint/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf.
- Vallejo, A. 2012. Proyectos forestales y mercados de carbono. Disponible en: <https://www.forestmaderero.com/articulos/item/proyectos-forestales-y-mercados-de-carbono.html>.
- Vivanco, E; González, P. 2022. Industria forestal y cambio climático: mercado de carbono.. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, Asesoría Técnica Parlamentaria. N° SUP: 134.496. Mayo 2022. Disponible en: <https://www.bcn.cl/asesoriasparlamentarias/>.
- von Bertalanffy, L. 1938. A quantitative theory of organic growth. *Human Biology* 10: 181 - 213.
- World Bank. 2018. State and Trends of Carbon Pricing 2018. Washington DC. 58 p.
- WWF. 2018. Phasing out Kyoto Protocol flexible mechanisms and shifting to the

110• JOSÉ RAFAEL LOZADA D.

Sustainable Development Mechanism. Issue Paper. Disponible en: http://awsassets.panda.org/downloads/wwf_briefing_paper_cop24_phasing_out_kyoto_protocol.pdf.

WWF Chile. 2021. Impuesto Verde y Mercados de Carbono para la Restauración en Chile. WWF Chile. Valdivia, Chile.

Zanne, A; Lopez-Gonzalez, G; Coomes, D; Ilic, J; Jansen, S; Lewis, S; Miller, R; Swenson, N; Wiemann, M; Chave, J. 2009. Global wood density database. Dryad. Identifier: <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>.

ANEXOS

Análisis de rentabilidad de cada especie.

Cálculos propios, realizados por hectárea.

El símbolo * indica la estabilización económica; a partir de ese año el beneficio neto acumulado es positivo.

A1. **Pino Caribe**, con un precio de carbono de **5 US\$/tCO₂**. Abreviaturas: E (edad, años); V (volumen, m³); C (CO₂, toneladas); P (precio, \$/tCO₂); Eg (egresos, \$/ha); I (ingresos, \$/ha); B (balance, \$/ha); BNA (beneficio neto acumulado, \$/ha)

E	V	C	P	Eg	Sólo Madera			Sólo CO ₂			Total		
					I	B	BNA	I	B	BNA	I	B	BNA
0	0	0	5	400		-400	-400	0	-400	-400	0	-400	-400
1			5	100		-100	-500	0	-100	-500	0	-100	-500
2			5	100		-100	-600	0	-100	-600	0	-100	-600
3			5	100		-100	-700	0	-100	-700	0	-100	-700
4			5	100		-100	-800	0	-100	-800	0	-100	-800
5	4	4	5	100		-100	-900	20	-80	-880	20	-80	-880
6			5	50		-50	-950	0	-50	-930	0	-50	-930
7			5	50		-50	-1.000	0	-50	-980	0	-50	-980
8			5	50		-50	-1.050	0	-50	-1.030	0	-50	-1030
9			5	50		-50	-1.100	0	-50	-1.080	0	-50	-1080
10	7	17	5	50		-50	-1.150	85	35	-1.045	85	35	-1045
11			5	50		-50	-1.200	0	-50	-1.095	0	-50	-1095
12			5	50		-50	-1.250	0	-50	-1.145	0	-50	-1145
13			5	50		-50	-1.300	0	-50	-1.195	0	-50	-1195
14			5	50		-50	-1.350	0	-50	-1.245	0	-50	-1245
15	40	58	5	50		-50	-1.400	290	240	-1.005	290	240	-1005
16			5	50		-50	-1.450	0	-50	-1.055	0	-50	-1055
17			5	50		-50	-1.500	0	-50	-1.105	0	-50	-1105
18			5	50		-50	-1.550	0	-50	-1.155	0	-50	-1155
19			5	50		-50	-1.600	0	-50	-1.205	0	-50	-1205
20	120	137	5	50		-50	-1.650	685	635	-570	685	635	-570
21			5	50		-50	-1.700	0	-50	-620	0	-50	-620
22			5	50		-50	-1.750	0	-50	-670	0	-50	-670
23			5	50		-50	-1.800	0	-50	-720	0	-50	-720
24			5	50		-50	-1.850	0	-50	-770	0	-50	-770
25	160	203	5	50		-50	-1.900	1.015	965	195	1.015	965	*195
26			5	50		-50	-1.950	0	-50	145	0	-50	145
27			5	50		-50	-2.000	0	-50	95	0	-50	95
28			5	50		-50	-2.050	0	-50	45	0	-50	45
29			5	50		-50	-2.100	0	-50	-5	0	-50	-5
30	175	229	5	50		-50	-2.150	1.145	1.095	1.090	1.145	1.095	1090
31			5	50		-50	-2.200	0	-50	1.040	0	-50	1040
32			5	50		-50	-2.250	0	-50	990	0	-50	990
33			5	50		-50	-2.300	0	-50	940	0	-50	940
34			5	50		-50	-2.350	0	-50	890	0	-50	890
35	180	236	5	50	14.400	14.350	12.000	1.180	1.130	2.020	14.400	14.350	15240

Continúa

A1. Pino caribe..... continuación

TIR	7%	4%	9%
VPN (10%)	-\$508	-\$595	-\$167
VPN (12%)	-\$640	-\$630	-\$407
VPN (14%)	-\$683	-\$639	-\$521

A2. Teca, con un precio de carbono de 5 US\$/tCO₂. Abreviaturas: E (edad, años); V (volumen, m³); C (CO₂, toneladas); P (precio, \$/tCO₂); Eg (egresos; \$/ha); I (ingresos, \$/ha); B (balance, \$/ha); BNA (beneficio neto acumulado, \$/ha)

E	V	C	P	Eg	Sólo Madera			Sólo CO ₂			Total		
					I	B	BNA	I	B	BNA	I	B	BNA
0	0	0	5	1000		-1000	-1000	0	-1.000	-1.000	0	-1.000	-1.000
1			5	200		-200	-1200	0	-200	-1.200	0	-200	-1.200
2			5	200		-200	-1400	0	-200	-1.400	0	-200	-1.400
3			5	200		-200	-1600	0	-200	-1.600	0	-200	-1.600
4			5	200		-200	-1800	0	-200	-1.800	0	-200	-1.800
5	90	182	5	200		-200	-2000	910	710	-1.090	910	710	-1.090
6			5	100		-100	-2100	0	-100	-1.190	0	-100	-1.190
7			5	100		-100	-2200	0	-100	-1.290	0	-100	-1.290
8			5	100		-100	-2300	0	-100	-1.390	0	-100	-1.390
9			5	100		-100	-2400	0	-100	-1.490	0	-100	-1.490
10	155	282	5	100		-100	-2500	1.410	1.310	-180	1.410	1.310	-180
11			5	100		-100	-2600	0	-100	-280	0	-100	-280
12			5	100		-100	-2700	0	-100	-380	0	-100	-380
13			5	100		-100	-2800	0	-100	-480	0	-100	-480
14			5	100		-100	-2900	0	-100	-580	0	-100	-580
15	200	339	5	100		-100	-3000	1.695	1.595	1.015	1.695	1.595	*1.015
16			5	100		-100	-3100	0	-100	915	0	-100	915
17			5	100		-100	-3200	0	-100	815	0	-100	815
18			5	100		-100	-3300	0	-100	715	0	-100	715
19			5	100		-100	-3400	0	-100	615	0	-100	615
20	225	365	5	100		-100	-3500	1.825	1.725	2.340	1.825	1.725	2.340
21			5	100		-100	-3600	0	-100	2.240	0	-100	2.240
22			5	100		-100	-3700	0	-100	2.140	0	-100	2.140
23			5	100		-100	-3800	0	-100	2.040	0	-100	2.040
24			5	100		-100	-3900	0	-100	1.940	0	-100	1.940
25	240	374	5	100		-100	-4000	1.870	1.770	3.710	1.870	1.770	3.710
26			5	100		-100	-4100	0	-100	3.610	0	-100	3.610
27			5	100		-100	-4200	0	-100	3.510	0	-100	3.510
28			5	100		-100	-4300	0	-100	3.410	0	-100	3.410
29			5	100		-100	-4400	0	-100	3.310	0	-100	3.310
30	248	380	5	100		-100	-4500	1.900	1.800	5.110	1.900	1.800	5.110
31			5	100		-100	-4600	0	-100	5.010	0	-100	5.010
32			5	100		-100	-4700	0	-100	4.910	0	-100	4.910
33			5	100		-100	-4800	0	-100	4.810	0	-100	4.810
34			5	100		-100	-4900	0	-100	4.710	0	-100	4.710

Continúa

ELEMENTOS PARA UN PLAN FORESTAL ORIENTADO A LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN
 VENEZUELA. pp. 7-121 •115

A2 Teca. Continuación

35	250	387	5	100	125.000	124900	120000	1.935	1.835	6.545	125.000	124.900	129.610
TIR						12%			9%			15%	
VPN (10%)						\$1.913			-\$189			\$3.792	
VPN (12%)						\$169			-\$445			\$1.636	
VPN (14%)						-\$681			-\$614			\$487	

A3. Paulownia, con un precio de carbono de 5 US\$/tCO₂. Abreviaturas: E (edad, años); V (volumen, m³); C (CO₂, toneladas); P (precio, \$/tCO₂); Eg (egresos, \$/ha); I (ingresos, \$/ha); B (balance, \$/ha); BNA (beneficio neto acumulado, \$/ha)

E	V	C	P	Eg	Sólo Madera			Sólo CO ₂			Total		
					I	B	BNA	I	B	BNA	I	B	BNA
0	0	0	5	1000		-1.000	-1.000	0	-1.000	-1.000	0	-1.000	-1.000
1			5	200		-200	-1.200	0	-200	-1.200	0	-200	-1.200
2			5	200		-200	-1.400	0	-200	-1.400	0	-200	-1.400
3			5	200		-200	-1.600	0	-200	-1.600	0	-200	-1.600
4			5	200		-200	-1.800	0	-200	-1.800	0	-200	-1.800
5	470	2.450	5	200		-200	-2.000	12.250	12.050	10.250	12.250	12.050	*10.250
6			5	100		-100	-2.100	0	-100	10.150	0	-100	10.150
7			5	100		-100	-2.200	0	-100	10.050	0	-100	10.050
8			5	100		-100	-2.300	0	-100	9.950	0	-100	9.950
9			5	100		-100	-2.400	0	-100	9.850	0	-100	9.850
10	485	2.500	5	100		-100	-2.500	12.500	12.400	22.250	12.500	12.400	22.250
11	485	2.501	5	100	109.125	109.025	106.525	0	0	22.250	109.125	109.025	131.275
TIR						49%			59%			69%	
VPN (10%)						\$32.926			\$9.484			\$44.222	
VPN (12%)						\$26.265			\$8.080			\$36.064	
VPN (14%)						\$20.993			\$6.903			\$29.532	

**ELEMENTOS PARA UN PLAN FORESTAL ORIENTADO A LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN
VENEZUELA. pp. 7-121 •117**

A4. **Pino Caribe**, con un precio de carbono de **10 US\$/tCO₂**. Abreviaturas: E (edad, años); V (volumen, m³); C (CO₂, toneladas); P (precio, \$/tCO₂); Eg (egresos; \$/ha); I (ingresos, \$/ha); B (balance, \$/ha); BNA (beneficio neto acumulado, \$/ha).

E	V	C	P	Eg	Sólo Madera			Sólo CO ₂			Total		
					I	B	BNA	I	B	BNA	I	B	BNA
0	0	0	10	400		-400	-400	0	-400	-400	0	-400	-400
1			10	100		-100	-500	0	-100	-500	0	-100	-500
2			10	100		-100	-600	0	-100	-600	0	-100	-600
3			10	100		-100	-700	0	-100	-700	0	-100	-700
4			10	100		-100	-800	0	-100	-800	0	-100	-800
5	4	4	10	100		-100	-900	40	-60	-860	40	-60	-860
6			10	50		-50	-950	0	-50	-910	0	-50	-910
7			10	50		-50	-1.000	0	-50	-960	0	-50	-960
8			10	50		-50	-1.050	0	-50	-1.010	0	-50	-1.010
9			10	50		-50	-1.100	0	-50	-1.060	0	-50	-1.060
10	7	17	10	50		-50	-1.150	170	120	-940	170	120	-940
11			10	50		-50	-1.200	0	-50	-990	0	-50	-990
12			10	50		-50	-1.250	0	-50	-1.040	0	-50	-1.040
13			10	50		-50	-1.300	0	-50	-1.090	0	-50	-1.090
14			10	50		-50	-1.350	0	-50	-1.140	0	-50	-1.140
15	40	58	10	50		-50	-1.400	580	530	-610	580	530	-610
16			10	50		-50	-1.450	0	-50	-660	0	-50	-660
17			10	50		-50	-1.500	0	-50	-710	0	-50	-710
18			10	50		-50	-1.550	0	-50	-760	0	-50	-760
19			10	50		-50	-1.600	0	-50	-810	0	-50	-810
20	120	137	10	50		-50	-1.650	1.370	1.320	510	1.370	1.320	*510
21			10	50		-50	-1.700	0	-50	460	0	-50	460
22			10	50		-50	-1.750	0	-50	410	0	-50	410
23			10	50		-50	-1.800	0	-50	360	0	-50	360
24			10	50		-50	-1.850	0	-50	310	0	-50	310
25	160	203	10	50		-50	-1.900	2.030	1.980	2.290	2.030	1.980	2290
26			10	50		-50	-1.950	0	-50	2.240	0	-50	2240
27			10	50		-50	-2.000	0	-50	2.190	0	-50	2190
28			10	50		-50	-2.050	0	-50	2.140	0	-50	2140
29			10	50		-50	-2.100	0	-50	2.090	0	-50	2090
30	175	229	10	50		-50	-2.150	2.290	2.240	4.330	2.290	2.240	4330
31			10	50		-50	-2.200	0	-50	4.280	0	-50	4280
32			10	50		-50	-2.250	0	-50	4.230	0	-50	4230
33			10	50		-50	-2.300	0	-50	4.180	0	-50	4180
34			10	50		-50	-2.350	0	-50	4.130	0	-50	4130

Continúa

A4. Pino caribe..... Continuación

35	180	236	10	50	14.400	14.350	12.000	2.360	2.310	6.440	14.400	14.350	18480
TIR						7%			8%			11%	
VPN (10%)						-\$508			-\$153			\$175	
VPN (12%)						-\$640			-\$378			-\$174	
VPN (14%)						-\$683			-\$467			-\$359	

**ELEMENTOS PARA UN PLAN FORESTAL ORIENTADO A LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN
VENEZUELA. pp. 7-121 • 119**

A5. **Teca**, con un precio de carbono de **10 US\$/tCO₂**. E (edad, años); V (volumen, m³); C (CO₂, toneladas); P (precio, \$/tCO₂); Eg (egresos, \$/ha); I (ingresos, \$/ha); B (balance, \$/ha); BNA (beneficio neto acumulado, \$/ha)

E	V	C	P	Eg	Sólo Madera			Sólo CO ₂			Total		
					I	B	BNA	I	B	BNA	I	B	BNA
0	0	0	10	1000		-1000	-1000	0	-1.000	-1.000	0	-1.000	-1.000
1			10	200		-200	-1200	0	-200	-1.200	0	-200	-1.200
2			10	200		-200	-1400	0	-200	-1.400	0	-200	-1.400
3			10	200		-200	-1600	0	-200	-1.600	0	-200	-1.600
4			10	200		-200	-1800	0	-200	-1.800	0	-200	-1.800
5	90	182	10	200		-200	-2000	1.820	1.620	-180	1.820	1.620	-180
6			10	100		-100	-2100	0	-100	-280	0	-100	-280
7			10	100		-100	-2200	0	-100	-380	0	-100	-380
8			10	100		-100	-2300	0	-100	-480	0	-100	-480
9			10	100		-100	-2400	0	-100	-580	0	-100	-580
10	155	282	10	100		-100	-2500	2.820	2.720	2.140	2.820	2.720	*2.140
11			10	100		-100	-2600	0	-100	2.040	0	-100	2.040
12			10	100		-100	-2700	0	-100	1.940	0	-100	1.940
13			10	100		-100	-2800	0	-100	1.840	0	-100	1.840
14			10	100		-100	-2900	0	-100	1.740	0	-100	1.740
15	200	339	10	100		-100	-3000	3.390	3.290	5.030	3.390	3.290	5.030
16			10	100		-100	-3100	0	-100	4.930	0	-100	4.930
17			10	100		-100	-3200	0	-100	4.830	0	-100	4.830
18			10	100		-100	-3300	0	-100	4.730	0	-100	4.730
19			10	100		-100	-3400	0	-100	4.630	0	-100	4.630
20	225	365	10	100		-100	-3500	3.650	3.550	8.180	3.650	3.550	8.180
21			10	100		-100	-3600	0	-100	8.080	0	-100	8.080
22			10	100		-100	-3700	0	-100	7.980	0	-100	7.980
23			10	100		-100	-3800	0	-100	7.880	0	-100	7.880
24			10	100		-100	-3900	0	-100	7.780	0	-100	7.780
25	240	374	10	100		-100	-4000	3.740	3.640	11.420	3.740	3.640	11.420
26			10	100		-100	-4100	0	-100	11.320	0	-100	11.320
27			10	100		-100	-4200	0	-100	11.220	0	-100	11.220
28			10	100		-100	-4300	0	-100	11.120	0	-100	11.120
29			10	100		-100	-4400	0	-100	11.020	0	-100	11.020
30	248	380	10	100		-100	-4500	3.800	3.700	14.720	3.800	3.700	14.720
31			10	100		-100	-4600	0	-100	14.620	0	-100	14.620
32			10	100		-100	-4700	0	-100	14.520	0	-100	14.520
33			10	100		-100	-4800	0	-100	14.420	0	-100	14.420
34			10	100		-100	-4900	0	-100	14.320	0	-100	14.320

Continúa

A5. Teca Continuación

35	250	387	10	100	125.000,0	124900	120000	3.870	3.770	18.090	125.000	124.900	139.220
TIR						12%			18%			20%	
VPN (10%)						\$1.913			\$1.753			\$5.672	
VPN (12%)						\$169			\$1.054			\$3.102	
VPN (14%)						-\$681			\$571			\$1.655	

ELEMENTOS PARA UN PLAN FORESTAL ORIENTADO A LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN
VENEZUELA. pp. 7-121 •121

A6. *Paulownia*, con un precio de carbono de **10 US\$/tCO₂**. Abreviaturas: E (edad, años); V (volumen, m³); C (CO₂, toneladas); P (precio, \$/tCO₂); Eg (egresos; \$/ha); I (ingresos, \$/ha); B (balance, \$/ha); BNA (beneficio neto acumulado, \$/ha).

E	V	C	P	Eg	Sólo Madera			Sólo CO ₂			Total		
					I	B	BNA	I	B	BNA	I	B	BNA
0	0	0	10	1000		-1.000	-1.000	0	-1.000	-1.000	0	-1.000	-1.000
1			10	200		-200	-1.200	0	-200	-1.200	0	-200	-1.200
2			10	200		-200	-1.400	0	-200	-1.400	0	-200	-1.400
3			10	200		-200	-1.600	0	-200	-1.600	0	-200	-1.600
4			10	200		-200	-1.800	0	-200	-1.800	0	-200	-1.800
5	470	2.450	10	200		-200	-2.000	24.500	24.300	22.500	24.500	24.300	*22.500
6			10	100		-100	-2.100	0	-100	22.400	0	-100	22.400
7			10	100		-100	-2.200	0	-100	22.300	0	-100	22.300
8			10	100		-100	-2.300	0	-100	22.200	0	-100	22.200
9			10	100		-100	-2.400	0	-100	22.100	0	-100	22.100
10	485	2.500	10	100		-100	-2.500	25.000	24.900	47.000	25.000	24.900	47.000
11	485	2.501	10	100	109.125	109.025	106.525	0	0	47.000	109.125	109.025	156.025
TIR						49%			84%			87%	
VPN (10%)						\$32.926			\$20.780			\$55.518	
VPN (12%)						\$26.265			\$17.880			\$45.864	
VPN (14%)						\$20.993			\$15.441			\$38.071	