
Informe final



**Construcción de capacidades para el
modelamiento de escenarios
energéticos a largo plazo para
informar el desarrollo de las
Contribuciones Nacionalmente
Determinadas**

Julio de 2021

Documento de proyecto

IRENA

Descargo de responsabilidad

Esta publicación y el material que contiene se proporcionan "tal cual". IRENA ha tomado todas las precauciones razonables para verificar la fiabilidad del material de esta publicación. No obstante, ni IRENA ni ninguno de sus funcionarios, agentes, proveedores de datos o de otros contenidos de terceros ofrecen garantía alguna, ya sea expresa o implícita, y no aceptan responsabilidad alguna por las consecuencias del uso de la publicación o del material que contiene.

La información aquí contenida no representa necesariamente las opiniones de todos los miembros de IRENA. La mención de empresas concretas o de determinados proyectos o productos no implica que IRENA los apruebe o recomiende con preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan. Las denominaciones empleadas y la presentación del material aquí expuesto no implican la expresión de ninguna opinión por parte de IRENA sobre el estatus legal de ninguna región, país, territorio, ciudad o zona, ni de sus autoridades, ni sobre la delimitación de fronteras o límites.

Document revisions

Versión	Fecha	Preparado por	Verificado por
1	28/04/2021	Pablo Carvajal Nadeem Goussous	Paul Melo Verónica Guayanlema

Contenido

1	Introducción	3
2	Resumen de la formación	4
2.1	Fase I (Autoaprendizaje).....	4
2.2	Fase II (Formación práctica)	4
2.2.1	Recapitulación y visión general avanzada de la estructura y los archivos de MESSAGE.....	6
2.2.2	El nexo entre energía y economía	6
2.2.3	El nexo entre energía y uso del suelo	7
2.2.4	Introducción al modelo Ecuador Land-use and Energy Analysis (ELENA) - Parte 1: Sectores del modelo	10
2.2.5	Introducción al modelo Ecuador Land use and Energy Analysis (ELENA) - Parte 2: Consideraciones clave para la modelización de escenarios NDC.....	12
3	Resultados de la encuesta.....	14
4	Conclusión:.....	15
5	Referencias	15

1 Introducción

El apoyo de IRENA a la revisión de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (CDN) es una ayuda no financiera que se presta a los países miembros en forma de intercambio de información y experiencia y de transferencia de conocimientos prácticos y habilidades, y también puede implicar la transferencia de datos técnicos. IRENA ha adquirido una amplia experiencia en muchos temas técnicos relacionados con la tecnología de las energías renovables, basándose en la investigación publicada, la educación y la formación, así como en las herramientas y las buenas prácticas que pueden utilizarse para mejorar el compromiso climático y aplicar los planes nacionales del sector climático.

La asistencia técnica se centra en las necesidades y prioridades particulares identificadas por los funcionarios nacionales. La llevan a cabo expertos reconocidos para revisar, alinear y apoyar la actualización y el refuerzo de los objetivos de las NDC existentes, con el fin de abordar las lagunas comunes a las primeras versiones de las NDC. Esto incluye, entre otras cosas, el apoyo a la cuantificación de las opciones de mitigación y adaptación, la alineación de los objetivos de las NDC con las políticas y estrategias nacionales pertinentes, la actualización con nueva información y datos, y la provisión de formación sobre la planificación de los tallos de los sistemas energéticos.

La actividad A285 sobre el *desarrollo de capacidades en software de modelización para desarrollar escenarios energéticos a largo plazo para informar el desarrollo de las NDC* se lleva a cabo bajo el Paquete de Mejora de la Acción Climática (CAEP) como parte de el NDC Partnership. IRENA organizó un programa de formación en modelización de escenarios energéticos a largo plazo en una serie de minitalleres virtuales. El objetivo de esta actividad fue apoyar a Ecuador en la creación de capacidades de planificación de escenarios energéticos para apoyar el desarrollo de la próxima NDC. Los escenarios energéticos a largo plazo son una herramienta valiosa para la mejora de las NDC y la política y los planes energéticos para alinearse con los objetivos del Acuerdo de París. La formación también contribuirá al proceso de diseño del Plan Nacional de Mitigación del Cambio Climático de Ecuador, que tendrá una visión a largo plazo.

El programa de formación contó con 30 participantes de ocho instituciones gubernamentales ecuatorianas:

- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica / Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
- Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables
- Instituto de Investigación Geológica y Energética
- Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables
- Operador Nacional de Electricidad (CENACE)
- Corporación Eléctrica del Ecuador
- Empresa Eléctrica de Galápagos
- Escuela Politécnica Nacional

El presente documento describe los pasos dados durante el programa de formación y los resultados del trabajo realizado.

2 Resumen de la formación

El programa de formación constó de dos fases:

- Fase 1: Autoaprendizaje, basado en el curso de aprendizaje electrónico modelo MESSAGE del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA);
- Fase 2: Formación práctica, basada en sesiones específicas que combinaban conferencias y talleres de modelado MESSAGE (virtuales).

El modelo MESSAGE se utiliza actualmente en todo el mundo para evaluar las vías de descarbonización a nivel nacional, regional y mundial. Se trata de un generador de modelos integrado para el sector energético que utiliza algoritmos de optimización para encontrar los escenarios de menor coste bajo restricciones exógenas (por ejemplo, las emisiones de CO₂). El Instituto Internacional de Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA) de Austria ha desarrollado el generador de modelos MESSAGE. Un acuerdo exclusivo entre IIASA y el OIEA permite a sus Estados miembros, entre ellos Ecuador, utilizarlo. Un acuerdo entre el OIEA e IRENA permite a este último utilizar el módulo de enseñanza virtual MESSAGE.

Los contenidos de las sesiones de formación se resumen por separado en las dos secciones siguientes y en el cuadro que sigue.

Los materiales del curso están disponibles en el siguiente enlace (copiar y pegar en el navegador): https://www.dropbox.com/sh/jvpotvvcjvxgpsy/AADIY5fFrGL6kOlwu5_7sVeha?dl=0

La formación se realizó íntegramente en lengua española.

2.1 Fase I (Autoaprendizaje)

La primera fase de la formación tenía como objetivo familiarizar a los participantes con la herramienta de modelización energética MESSAGE del 19 de febrero al 18 de marzo de 2021 (4 sesiones, 1 por semana). Se trató de una formación general inicial sobre la herramienta MESSAGE en forma de curso de autoaprendizaje que los participantes debían seguir basándose en el curso de aprendizaje electrónico del OIEA.

Los principales temas abordados en los diferentes módulos de autoformación abarcaron, entre otros, una presentación general de la herramienta, las características clave de la misma, el acceso a la herramienta y el apoyo técnico para su uso, los elementos centrales del análisis, la interfaz de usuario, las entradas y salidas estándar y ejemplos de los análisis.

2.2 Fase II (Formación práctica)

La segunda fase de la formación se basó en conferencias sobre temas específicos y formación práctica con la herramienta MESSAGE y casos personalizados. La fase II se centró en ofrecer una introducción al uso avanzado de las herramientas de modelización, incluida una mejor comprensión de las funcionalidades de la herramienta y las aplicaciones avanzadas de las evaluaciones integradas.

A continuación se resumen los principales temas tratados en la Fase II.

Cuadro 1 Esquema de la sesión del programa de formación

Fase	Sesión	Fecha	Tema	Horas	Modalidad
Fase 1: Curso de preformación	Inicio	Lunes, 1 de febrero de 2021	Reunión de lanzamiento	1	Seminario en línea
	1	Jueves, 4 de febrero de 2021	El ámbito de aplicación de MESSAGE y la modelización de un sistema sencillo de suministro de energía		Autoaprendizaje
	2	Jueves, 11 de febrero de 2021	Modelización de las regiones de carga y límites de capacidad en el modelo simple		Autoaprendizaje
	3	Jueves, 18 de febrero de 2021	Modelización de la energía hidroeléctrica en el modelo energético simple		Autoaprendizaje
	4	Jueves, 25 de febrero de 2021	Modelización de la normativa medioambiental en el modelo simple		Autoaprendizaje
Fase 2: Sesiones prácticas	5	Jueves, 4 de marzo de 2021	Recapitulación y visión general avanzada de la estructura y los archivos de MESSAGE	2.5	Taller virtual
	6	Jueves, 11 de marzo de 2021	El nexo entre energía y economía	2.5	Taller virtual
	7	Jueves, 18 de marzo de 2021	El nexo entre energía y uso del suelo	2.5	Taller virtual
	8	Jueves, 25 de marzo de 2021	Introducción al modelo Ecuador Land-use and Energy Analysis (ELENA) - Parte 1: Sectores del modelo	2.5	Taller virtual
	9	Jueves, 1 de abril de 2021	Introducción al modelo Ecuador Land use and Energy Analysis (ELENA) - Parte 2: Consideraciones clave para la modelización de escenarios NDC.	2.5	Taller virtual

2. 2. 1 Recapitulación y visión general avanzada de la estructura y los archivos de MESSAGE

La sesión se centró en una recapitulación de la herramienta MESSAGE y proporcionó una visión más detallada de las funcionalidades de la herramienta para el análisis avanzado. La primera mitad de la sesión se centró en una visión general de MESSAGE, incluyendo su historia de desarrollo y sus objetivos principales, y una introducción a las especificidades de la optimización de la programación lineal y cómo afecta al procedimiento metodológico de la herramienta. En este contexto, se presentaron las funcionalidades internas de MESSAGE. Esto incluyó la identificación de los archivos de entrada y su relación con la interfaz de usuario guiada (GUI) y los cuatro procesos internos y el flujo de información dentro de MESSAGE: la generación de la matriz, el optimizador, el convertidor de soluciones y el informador de resultados. La figura1 presenta una visión general de las aplicaciones, los archivos de entrada y salida y el flujo de información general en el procedimiento de optimización. La última parte de la sesión se centró en el seguimiento del flujo de información, paso a paso, mediante la evaluación de los archivos de entrada y salida de cada paso, ya sea a través de la interfaz gráfica de usuario o de la ruta de los archivos en el directorio del sistema operativo. Como ejemplo, se utilizó el caso de demostración estándar "Demo_Case".

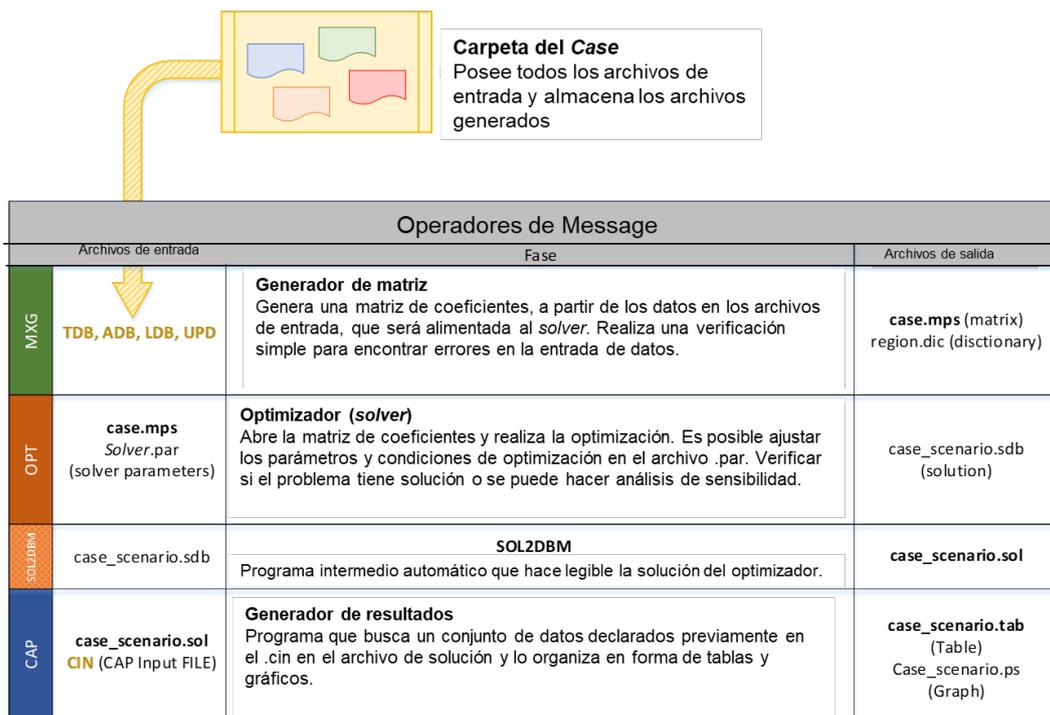


Figura 12- Sesión 5: Aplicaciones de mensajes y flujo de información

2. 2. 2 El nexa entre energía y economía

En la sesión se analizó la relación entre el sector energético y la economía en general. Más concretamente, en la parte de la conferencia se presentaron los conceptos de modelos de equilibrio parcial y de equilibrio general. A continuación, se introdujeron modelos macroeconómicos típicos, como el Análisis Input-Output (IO) y los modelos de Equilibrio General Computable (CGE). Para

ambas estrategias de modelización, se presentó una breve historia, aspectos conceptuales y formulaciones matemáticas básicas. En resumen, se introdujo la importancia de reconocer los impactos de la economía en los modelos energéticos y, por otro lado, los efectos potenciales de las políticas y vías energéticas en otros sectores económicos.

En la parte práctica de la sesión, se desarrolló una aplicación hipotética de las narrativas socioeconómicas y su repercusión en la disponibilidad de la tecnología y las demandas exógenas. El caso se centró en dos trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP) diferentes, que varían no sólo en los supuestos del crecimiento global de la población y la economía, sino también en las preocupaciones de sostenibilidad de la cartera tecnológica. Para evaluar las implicaciones de las narrativas socioeconómicas, se desarrolló un caso personalizado para representar sectores energéticos e industriales simplificados (Figura2). Además, basándose en la bibliografía disponible, el formador creó una hoja de cálculo para i) determinar la demanda de acero; ii) verificar los supuestos de difusión tecnológica para cada escenario; iii) analizar indicadores específicos, como la intensidad energética y la intensidad de carbono.

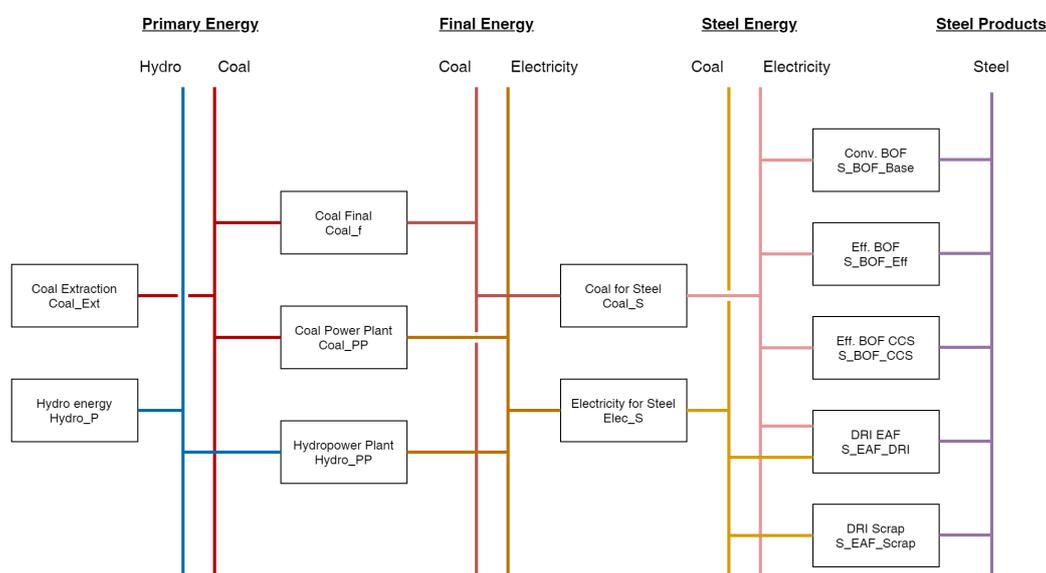


Figura 34- Sesión 6: Estructura del caso macroeconómico personalizado

2. 2. 3 El nexo entre energía y uso del suelo

La sesión se centró en la modelización del nexo entre los sistemas energético y terrestre (Figura3). Existen varias interacciones entre ambos sistemas, pero lo más importante es destacar: la relevancia de las emisiones de gases de efecto invernadero basadas en la tierra, especialmente para la mayoría de los países sudamericanos, como Ecuador y Brasil; el consumo de energía para la producción agrícola y el procesamiento de alimentos; la competencia por la tierra, especialmente teniendo en cuenta el papel potencial de los biocombustibles como opción de mitigación para el sector energético. Además, el sistema de la tierra también tiene otras conexiones vitales para el avance de los objetivos de desarrollo sostenible, como los impactos sobre el hambre y la pobreza, los recursos hídricos y la biodiversidad.

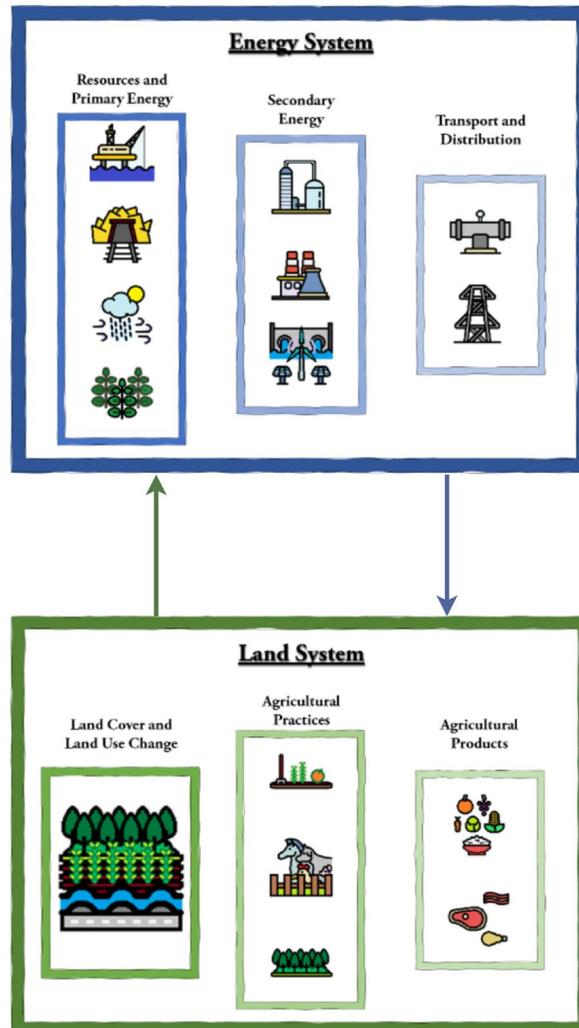


Figura 56- Sesión 7: Integración de los sistemas energético y terrestre

Para la parte práctica de esta sesión se desarrollaron dos casos con el fin de mostrar los diferentes procedimientos metodológicos disponibles para incluir las limitaciones y la modelización relacionadas con la tierra. El primero, el caso 7A, se centró en la aplicación de curvas de oferta de costes para la bioenergía primaria. Este procedimiento se considera un enfoque de enlace suave para implementar las limitaciones del sistema de uso de la tierra sobre la disponibilidad de bioenergía y los efectos coste de producción. La figura4 presenta la estructura del caso 7A, que se centra en una hipotética competencia entre los líquidos derivados del petróleo, los líquidos derivados de la biomasa y la movilidad eléctrica para el transporte de pasajeros y mercancías.

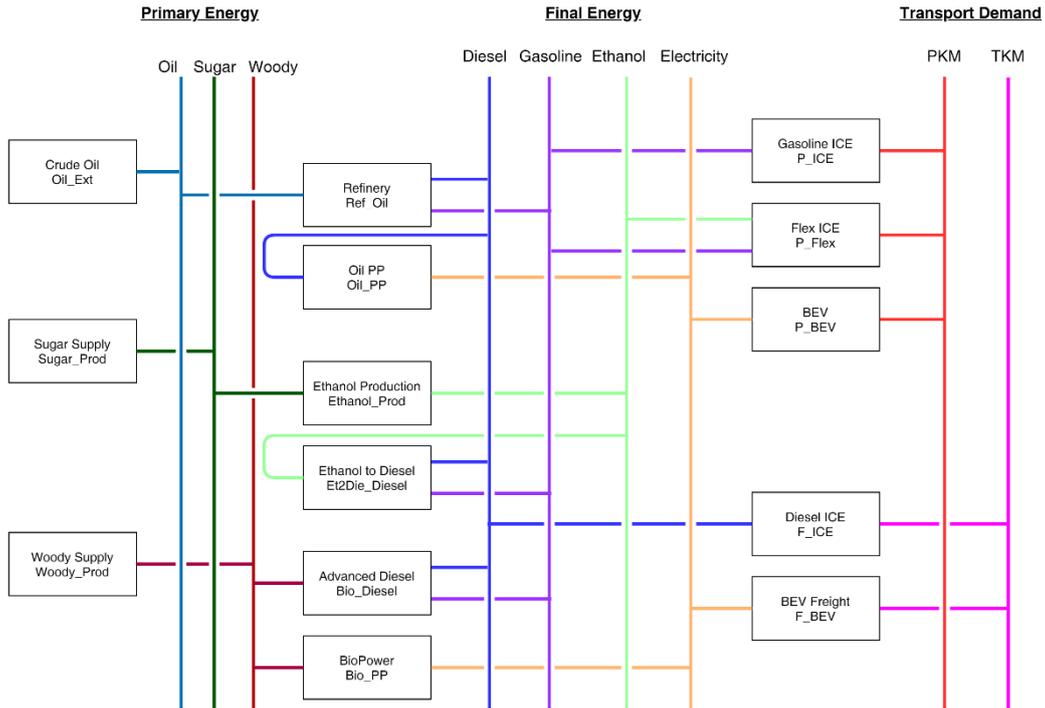


Figura 78- Sesión 7: Estructura de la curva de oferta Caso personalizado

Frente al enfoque soft-link, el caso 7B presentó un enfoque metodológico simplificado para incluir el sistema terrestre directamente en la herramienta MESSAGE. Este enfoque se conoce como hard-link. A pesar de la complejidad adicional, la principal ventaja de este enfoque es que las decisiones de los sistemas energético y terrestre se toman simultáneamente, evitando las eventuales compensaciones e incoherencias que suelen darse en los enfoques soft-link. La figura 5 presenta la estructura del caso 7B, que contabiliza el cambio de uso de la tierra entre zonas forestales y agrícolas para satisfacer la demanda de bioenergía.

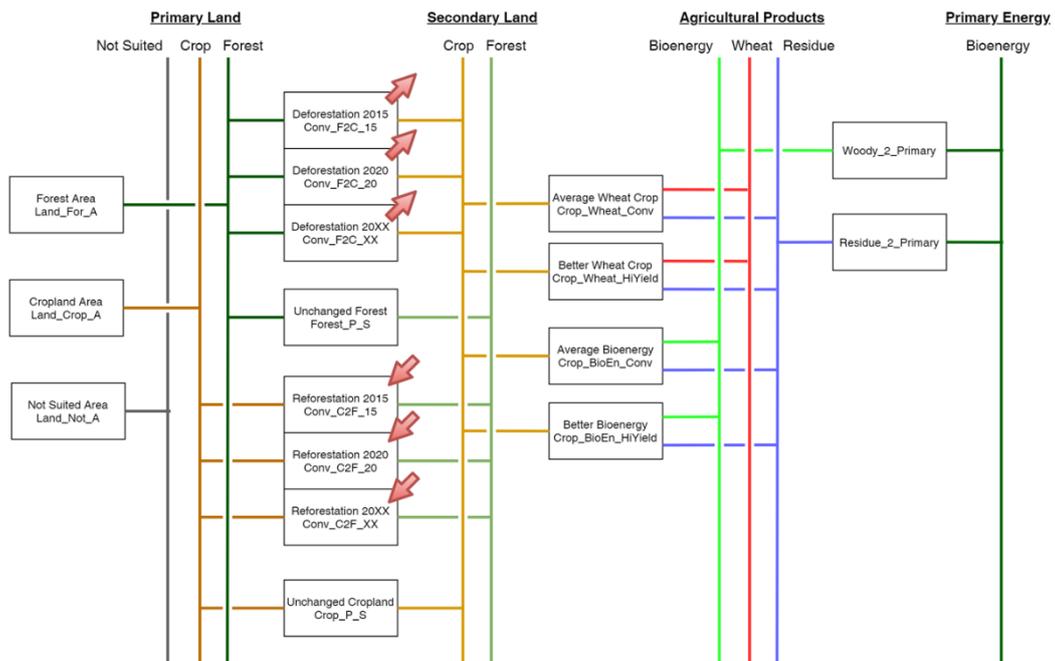


Figura 910- Sesión 7: Estructura del caso personalizado de cambio de uso del suelo

2. 2. 4 Introducción al modelo Ecuador Land-use and Energy Analysis (ELENA) - Parte 1: Sectores del modelo

Las dos últimas sesiones se centraron en la vinculación de los sectores de la energía y la economía y el sistema de tierras. En este contexto, los Modelos de Evaluación Integrada (IAM) son herramientas diseñadas para representar las actividades basadas en procesos de desarrollo social y sus impactos en el medio ambiente, sobre todo en el cambio climático. El MESSAGE se ha utilizado como marco para el desarrollo de IAM desde el principio de su desarrollo. Así, las dos últimas sesiones se centraron en el modelo de evaluación integrada para Ecuador, "ELENA", desarrollado por la Escuela Politécnica Nacional (EPN), en Quito, con la colaboración de COPPE (Brasil) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Las dos primeras sesiones se dedicaron a la IAM ecuatoriana y se centraron en la visión general del modelo y la construcción metodológica. Además, la sesión permitió un análisis en profundidad de los parámetros de entrada. Por ejemplo, la Figura 6 presenta la representación regional de ELENA (a) y las categorías de costes de la tierra utilizadas para representar el uso y el cambio de uso de la tierra (b).

En la sesión se alternó la presentación de aspectos específicos del modelo ELENA en forma de conferencia y la sesión práctica, utilizando la documentación del modelo, en particular las hojas de cálculo disponibles en el material complementario de Villamar et al. (2021). Los temas tratados en esta sesión alternada fueron: demandas de energía útil para cada sector representado en el modelo; base de datos de entrada para el coste, las eficiencias y otros parámetros relacionados con las tecnologías energéticas, como las renovables; parámetros técnicos para las tecnologías de conversión, como los vehículos, el sector del transporte.

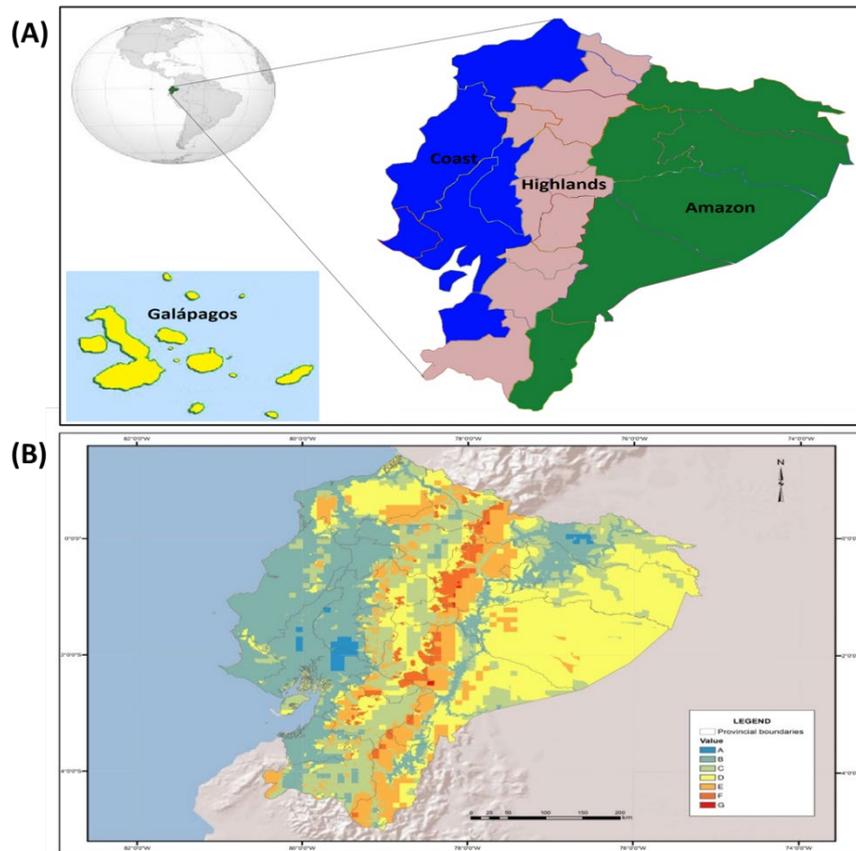


Figura 1112- Sesión 8: Representación regional de ELENA: regiones (A) y categorías de terreno (B)

Por último, al final de la sesión, se promovió un debate abierto y una mesa redonda para discutir el papel potencial de las tecnologías disruptivas seleccionadas en las políticas energéticas y climáticas de Ecuador y en los planes nacionales. Los temas elegidos se centraron en el sector del transporte y estaban compuestos por los vehículos eléctricos de batería (BEV), los vehículos de pila de combustible basados en el hidrógeno (FCV) y los biocombustibles avanzados. Las tres opciones se presentaron y debatieron brevemente (véase la figura7), y los participantes aportaron sus conocimientos y opiniones.

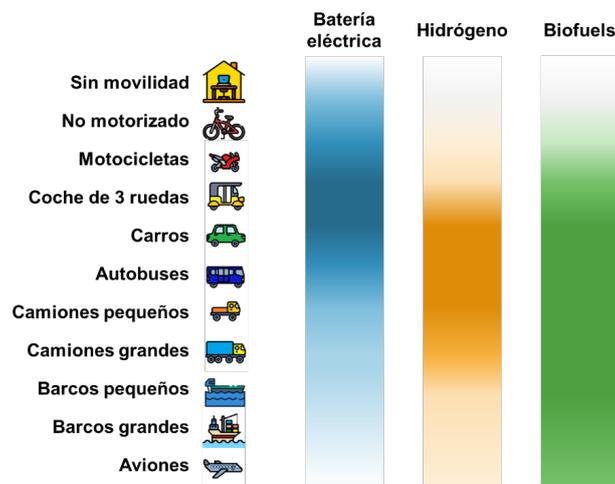


Figura 1314- Sesión 8: Posible aplicación de diferentes tecnologías de movilidad por tipo de vehículo

2. 2. 5 Introducción al modelo Ecuador Land use and Energy Analysis (ELENA) - Parte 2: Consideraciones clave para la modelización de escenarios NDC

La última sesión se centró en los escenarios desarrollados en ELENA para evaluar las vías para un futuro bajo en carbono y sostenible para Ecuador. El conjunto de escenarios espera proporcionar una visión e información relevante para el proceso de evaluación y revisión de los procesos de las NDC ecuatorianas. En este contexto, la parte práctica de esta sesión se centró en las diferentes técnicas de implementación de políticas climáticas en la herramienta MESSAGE.

La primera mitad de la sesión se centró en el proceso de desarrollo de escenarios, incluyendo el proceso de participación de las partes interesadas para la construcción colaborativa de las narrativas de los escenarios. Debido a este proceso, cada escenario evaluado en el Proyecto de la Senda de Descarbonización Profunda (DDP) se resumió en términos de los supuestos básicos para cada sector modelizado en ELENA, como el sector energético, el petróleo y el gas, la industria, el transporte, los hogares, el cambio de uso del suelo y la silvicultura, y la agricultura. Como método interactivo, se analizaron conjuntos de datos adicionales de los materiales complementarios ya utilizados en la sesión 8. Además, se presentó el [tablero de visualización en línea del Proyecto DDP](#) (Figura 8) como herramienta interactiva para analizar los resultados de ELENA para las trayectorias climáticas a largo plazo para Ecuador. También se explicaron brevemente los productos adicionales no disponibles en el tablero de mando en línea.

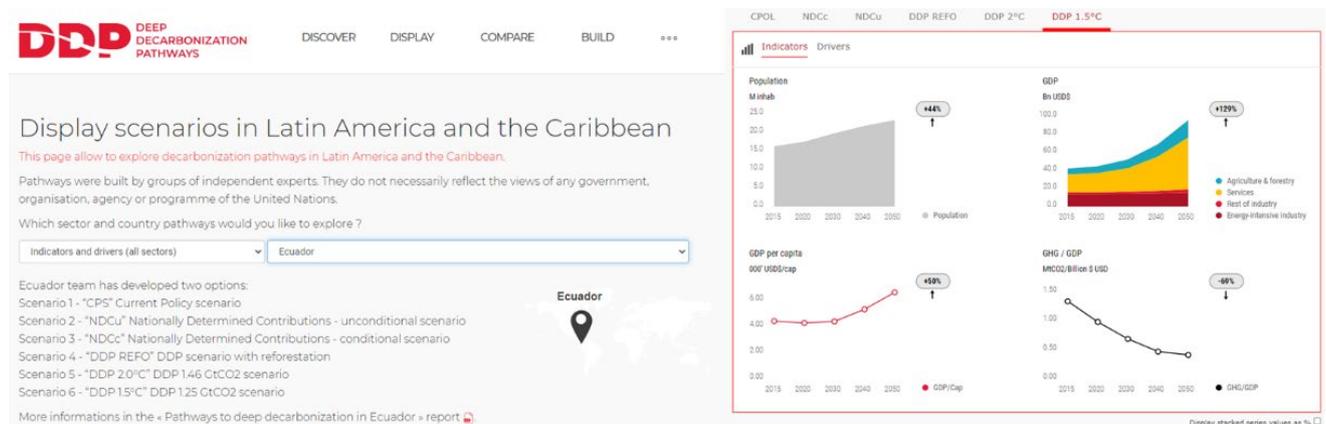


Figura 1516- Sesión 9: Cuadro de mando del escenario en línea del Proyecto DDP

Como se ha mencionado anteriormente, la parte práctica de esta sección se ha centrado en la aplicación de diferentes tipos de políticas climáticas, como el impuesto sobre el carbono para toda la economía, el impuesto sobre el carbono para sectores específicos, el objetivo de emisiones para toda la economía (también conocido como límite de emisiones) y el presupuesto nacional de emisiones. Las dos primeras representan políticas basadas en el mercado, en las que las emisiones de GEI se penalizan mediante la aplicación de un impuesto. La diferencia entre estos escenarios es que el primero evalúa un único impuesto sobre el carbono estándar para todos los sectores económicos. El segundo considera las diferencias sectoriales entre los impuestos sobre el carbono, que se explican por los impactos económicos de la limitación de las emisiones de carbono y otros efectos macroeconómicos, como la seguridad del empleo y la importancia del comercio. Los dos últimos escenarios son mecanismos de control de las emisiones para la economía. El objetivo

de emisiones representa la reducción de las mismas en el futuro, y el presupuesto de emisiones representa las emisiones acumuladas permitidas para un plazo determinado. Los cuatro escenarios se aplicaron en una versión actualizada del Caso 6, que se centró en una representación simplificada de los sectores energético e industrial. El análisis de los resultados permitió discutir los impactos del diseño de la política climática y sus conexiones con los resultados del modelo.

3 Resultados de la encuesta

Se realizó una encuesta de satisfacción posterior a la formación, que fue completada por once participantes.

Los participantes mostraron un alto nivel de satisfacción, con :

- Una valoración media de **4,73** sobre 5.
- **Todos los participantes** consideraron útil el curso.

En las respuestas a una de las preguntas sobre lo que hay que mejorar para futuros cursos, se plantearon cuatro temas principales:

- Aumentar la interactividad de los cursos.
- Añadir descansos ocasionales debido a la duración de las sesiones.
- Creación de tareas de grupo para promover el intercambio de resultados entre los participantes del curso.
- Incluye datos reales y estudios de casos.

En las respuestas a una pregunta sobre los temas que los participantes desearían explorar en posibles cursos futuros, las sugerencias incluyeron:

- Cómo hacer frente a las incertidumbres
- Integración con los modelos climáticos
- Modelización de los impuestos sobre el carbono
- Análisis económico-financiero de los escenarios
- Modelización eólica y solar
- Modelización de la eficiencia energética
- Una modelización más centrada en el sistema eléctrico

En la sección de "otros comentarios" de la encuesta, los participantes indicaron el alto nivel de utilidad que este curso aportaría a su trabajo, elogiando la claridad del curso y la relevancia del modelo ELENA.

4 Conclusión:

La herramienta MESSAGE es una herramienta probada para evaluar las políticas energéticas, de uso del suelo y climáticas para América Latina. Además, es una herramienta fascinante para apoyar las decisiones basadas en la ciencia generando un análisis relevante para los responsables de la toma de decisiones. Los temas tratados durante el curso proporcionaron un marco sólido para la evaluación integrada de las posibles trayectorias y las implicaciones de las decisiones políticas. En este contexto, el desarrollo de un marco de análisis avanzado, como el modelo de evaluación integrada ELENA, con vínculos con el uso de la tierra y todos los sectores económicos, es una estrategia esencial para el desarrollo de la capacidad gubernamental, el fortalecimiento científico y la mejora de las capacidades para la toma de decisiones en materia de energía y clima. Más concretamente, se espera que este programa de formación proporcione contribuciones significativas para el desarrollo de capacidades de las entidades gubernamentales en su revisión y actualización de la próxima NDC y otros requisitos de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

5 Referencias

1] Villamar, D., Soria, R., Rochedo, P., Szklo, A., Imperio, M., Carvajal, P., & Schaeffer, R. (2021). Caminos de descarbonización profunda a largo plazo para Ecuador: Insights from an integrated assessment model. *Energy Strategy Reviews*, 35 doi:10.1016/j.esr.2021.100637.



IN CONTRIBUTION TO THE NDC PARTNERSHIP

Supported by:



based on a decision of the German Bundestag

