

Enfoques Metodológicos para la
modelación económica del sector Uso de
Suelo, Cambio de Uso de Suelo y
Silvicultura para la estimación de
Gases de Efecto Invernadero

Coordinación General de Crecimiento Verde
2017

Directorio:

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC – SEMARNAT)

Dra. María Amparo Martínez Arroyo
Directora General

Coordinación General de Crecimiento Verde (CGCV - INECC – SEMARNAT)

Mtro. Miguel Gerardo Breceda Lapeyre

Revisión:

María del Pilar Salazar Vargas

Octavio Tolentino Arévalo

Carlos Matías Figueroa

Elaboración:

Idom Ingeniería, S.A de C.V.

Forma de citar:

INECC. (2017). Enfoques Metodológicos para la modelación económica del sector Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura para la estimación de Gases de Efecto Invernadero. Informe final. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), México.

D.R. © 2017 Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

Periférico Sur 5000, Col. Insurgentes Cuicuilco
C.P. 04530, Delegación Coyoacán, México, Ciudad de México
<http://www.gob.mx/inecc>

Contenido

Acrónimos	6
Glosario.....	9
Resumen ejecutivo	14
1. Introducción	18
1.1 Sector USCUSS	21
1.1.1 Emisiones de GEI del Sector USCUSS.....	22
1.1.2 Situación del sector forestal mexicano	24
1.1.3 Caracterización económica del sector USCUSS en México	27
1.1.4 Relación entre las emisiones de GEI y la economía	31
1.2 Modelación económica.....	35
1.2.1 Modelos Agregados.....	36
1.2.2 Modelos desagregados.....	37
1.2.3 Modelos Integrados	38
2. Análisis de modelos económicos	44
2.1 Elementos para el desarrollo de un modelo en México	44
2.1.1 Descripción de los elementos	44
2.2 Descripción de los modelos seleccionados	47
2.2.1 Modelos agregados	47
2.2.2 Modelos desagregados.....	50
2.2.3 Modelos Integrados	53
2.3 Análisis de aplicabilidad al contexto mexicano	57
2.3.1 Análisis cualitativo de características	57
2.4 Análisis de los modelos	60
2.4.1 Árbol de decisión	64
2.4.2 Selección del enfoque metodológico	70
3. Desarrollo de enfoque metodológico	74
3.1 Alcance del enfoque metodológico.....	75
3.2 Fuentes de información	76

3.2.1 Matriz de Insumo Producto 2012.....	76
3.2.2 Selección de los sectores para enfoque metodológico	79
3.2.3 Construcción de la Matriz de Contabilidad Social.....	80
3.2.4 Estimación de emisiones de GEI	81
3.3 Desarrollo del MEG estático.....	82
3.3.1 Especificación del modelo estático.....	83
3.3.2 Definición de equilibrio.....	90
3.3.3 Calibración del modelo.....	95
3.4 Escenarios para el modelo estático.....	98
3.4.1 Escenarios de ajustes de política.....	98
3.4.2 Contribuciones Nacionalmente Determinadas.....	101
4. Propuesta conceptual del modelo dinámico.....	103
4.1 Especificación del modelo dinámico.....	103
4.2 Calibración del modelo dinámico	113
4.3 Recomendaciones y siguientes pasos	114
4.3.1 Simulación eliminar subsidio -propuesta metodológica-.....	118
5. Conclusiones	119
Bibliografía.....	121
Anexo I: Matrices descriptivas de modelos.....	127
Anexo I.A Matriz descriptiva modelos agregados	127
Anexo I.B Matriz descriptiva modelos desagregados.....	135
Anexo I.C Matriz descriptiva modelos integrados.....	140
Anexo II: Tabla de agrupación de sectores.....	149

Índice de tablas

Tabla 1. Académicos seleccionados.....	20
Tabla 2. Entrevistas del sector Público.....	21
Tabla 3. Productos forestales maderables y no maderables	28
Tabla 4. Balanza Comercial de Productos Forestales de México para 2015	29
Tabla 5. Modelos que se adaptan a los criterios establecidos.....	58

Tabla 6. Caracterización de los modelos	60
Tabla 7. Integración de las ramas en los sectores a utilizar	79
Tabla 8. Coeficientes de estimación de emisiones de GEI.....	82
Tabla 9. Elasticidades de sustitución por rama económica	96

Índice de figuras

Figura 1. Variables que influyen en la deforestación.....	33
Figura 2. Estructura de un modelo de equilibrio general computable.....	41
Figura 3. Árbol de decisión para seleccionar modelo	65
Figura 4. Árbol Modelo Boyd-Ibarrarán	65
Figura 5. Árbol modelo MEGA	68
Figura 6. Árbol G4M.....	69
Figura 7. Árbol modelo PROBIT	70
Figura 8. Integración de AFOLU	72
Figura 9. Estructura y composición de la MIP 2012	77

Acrónimos

AFOLU	Agropecuaria, Silvicultura y otros Usos del Suelo (por sus siglas en inglés)
BAU	Tendencia bajo las mismas prácticas (por sus siglas en inglés)
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
BUR	Informe Bienal de Actualización (por sus siglas en inglés)
CC	Cambio Climático
CCM	Campus Ciudad de México
CCVC	Contaminantes Climáticos de Vida Corta
CEDLAS	Centro de Estudios Distributivos, Laborales y Sociales
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CH₄	Metano
CI	Conservación Internacional
CIDE	Centro de Investigación y Docencia Económica
CMNUCC	Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CN	Comunicación Nacional
CND	Contribuciones Nacionalmente Determinadas
CO₂	Dióxido de carbono
COLMEX	Colegio de México
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
EKC	Curva Ambiental de Kuznets (por sus siglas en inglés)
ENAREDD+	Estrategia Nacional REDD+
ENHRUM	Encuesta Nacional de Hogares Rurales en México
ENIGH	Encuesta Nacional de Ingreso, Gasto de los Hogares
EPA	Agencia de Protección Ambiental (por sus siglas en inglés)
EPPA	Predicciones de Emisión y Análisis de Política (por sus siglas en inglés)
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (por sus siglas en inglés)
G4M	Modelo Forestal Global (por sus siglas en inglés)
GAMS	Sistema General de Modelación Algebraica (por sus siglas en inglés)
GEI	Gases de Efecto Invernadero
Gg	Giga gramos
IA	Evaluación Integral Forestal (por sus siglas en inglés)
IGSM	El Modelo Integrado del Sistema Global (por sus siglas en inglés)
IIASA	Instituto Internacional de Análisis de Sistemas Aplicados (por sus siglas en inglés)

IMCO	Instituto Mexicano de la Competitividad
INE	Instituto Nacional de Ecología, actualmente INECC
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGEI	Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INEGYCEI	Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero
INFyS	Inventario Nacional Forestal y de Suelos
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático (por sus siglas en inglés)
IT3	Modelo de interacciones 3 (Linder, 2002) (por sus siglas en inglés)
ITAM	Instituto Tecnológico Autónomo de México
ITESM	Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey
LANDIS	Sucesión de perturbaciones de paisaje (por sus siglas en inglés)
LGCC	Ley General de Cambio Climático
MATLAB	Laboratorio de Matrices (por sus siglas en inglés)
MCS	Matriz de Contabilidad Social
MEDEC	México: Estudio sobre la Disminución de Emisiones de Carbono
MEG	Modelo de Equilibrio General
MEGC	Modelo de Equilibrio General Computable
MIP	Matriz Insumo Producto
MPSGE	Sistema General de Programación Matemática (por sus siglas en inglés)
MRV	Monitoreo, Reporte y Verificación
N ₂ O	Óxido Nitroso
NERF	Nivel de Emisiones de Referencia Forestal
NIR	Reporte del Inventario Nacional (por sus siglas en inglés)
ONG	Organización No Gubernamental
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PAC	Plan de Acción Climático
PEA	Población Económicamente Activa
PECC	Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018
PIB	Producto Interno Bruto
PMF	Programa de Manejo Forestal
PMR	Productos de Madera Recolectada
PPN	Producción Primaria Neta
PROCYMAF	Programa de Desarrollo Forestal Comunitario
PRODEEFOR	Programa de desarrollo Forestal
PRODEPLAN	Programa de Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales
PRONAFOR	Programa Nacional Forestal

PRONARE	Programa Nacional de Reforestación
RAS	Método bi proporcional de Matrices (por sus siglas en inglés)
REDD+	Reducción de emisiones por degradación y deforestación
SCIAN	Sistema de Clasificación de América del Norte
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SHCP	Secretaría de Hacienda y Crédito Público
SMF	Sistema de Manejo Forestal
TMS	Tipo de Manejo Forestal
TPF	Tipo de Poseedor Forestal
UDLAP	Universidad de las Américas Puebla
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
UNLP	Universidad Nacional de la Plata
USCUSS	Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura
VA	Valor Agregado
VBP	Valor Bruto de Producción
WITCH	<i>World Induced Technical Change Hybrid</i>

Glosario

Acción REDD+	Toda acción que contribuya a la reducción efectiva de emisiones de bióxido de carbono a la atmósfera derivadas de la disminución de la deforestación y degradación forestal, la conservación y gestión sostenible de los bosques, y el aumento de las reservas forestales de carbono en cada estado y región.	(CONAFOR, 2017)
Actividad económica	Es el campo de acción específico al cual se dedican las unidades económicas para producir bienes o generar servicios que satisfagan las necesidades de otras unidades institucionales.	(INEGI, 2013)
Adicionalidad	Es el requisito de una actividad que genere beneficios reales, medibles y a largo plazo, adicionales a lo que sucedería si no se realizara dicha actividad. En el caso de REDD+, se debe probar que las actividades realizadas abordan los causantes de deforestación y degradación forestal que contribuye a las reducciones de emisiones o al aumento en las reservas de carbono; lo que permite superar barreras de tipo económico, tecnológico o social que no se ejecutarían de otra forma.	(CONAFOR, 2017)
Agostaderos	Tierras con capacidad para producir forraje para el ganado y animales silvestres.	(CONAFOR, 2017)
Agrosilvicultura	Es un grupo de prácticas y sistemas de producción, donde la siembra de los cultivos y árboles forestales se encuentran secuencialmente y en combinación con la aplicación de prácticas de conservación de suelo. Estas prácticas y sistemas están diseñados y ejecutados dentro del contexto de un plan de manejo de finca, donde la participación del campesino es clave.	(FAO, 2017)
Año base	Es el año de referencia para expresar los cálculos a valores constantes, el cual deberá reunir ciertos requisitos: 1) reciente 2) existir normalidad en las condiciones de mercado 3) registrar crecimiento económico 4) existe información abundante 5) tiene uniformidad en las variaciones de precios.	(INEGI, 2013)
Aprovechamiento forestal	La extracción realizada en los términos de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable de los recursos forestales del medio en que se encuentren, incluyen los maderables y los no maderables.	(CONAFOR, 2017)
Bienes	Objetos sobre los que se pueden establecer derechos de propiedad y cuya titularidad puede transferirse entre sectores de actividad mediante transacciones realizadas en los mercados, para satisfacer necesidades de la comunidad y que pueden venderse y comprarse.	(INEGI, 2013)
Biomasa	Toda materia orgánica aérea o subterránea, viva o muerta por ejemplo en los árboles, los cultivos, las gramíneas, las raíces). El término "biomasa" corresponde a una definición común de la biomasa por encima del suelo y de la biomasa por debajo del suelo.	(FAO, 2005)
Cambio de cobertura vegetal	Son todos aquellos cambios en la diversidad biótica, producción potencial, escurrimiento, tasas de sedimentación y calidad del suelo	(Sánchez Azofeifa, 1997)
Cambio de Uso de Suelo	Cambio en el uso o manejo de la tierra por los seres humanos, que puede inducir un cambio de la cubierta terrestre.	(IPCC, 1996)
Capital	Capital representado únicamente por los activos producidos compatible con el concepto de Producto Interno Neto. Medida promedio que se obtiene con la suma los activos fijos y las existencias ambos al inicio y cierre del año.	(INEGI, 2013)

Captura de carbono	Extracción y almacenamiento de carbono de la atmósfera en sumideros de carbono (como los océanos, los bosques o la tierra) a través de un proceso físico o biológico. En el caso de las plantas a través de la fotosíntesis.	(Green Facts, 2017)
Comunidad agraria	Es el grupo de población campesina que, con anterioridad a la Ley Agraria del 6 de enero de 1915, disponga de tierras, bosques o aguas independientemente del tipo de actividad que en ellas se realice, y el municipio o municipios en que se encuentre. Son concedidas en usufructo a los grupos beneficiados por lo que no podrán enajenarse, cederse, transmitirse, arrendarse, hipotecarse o gravarse todo o en parte. La mayoría de las comunidades agrarias pertenecen a grupos indígenas.	(SEMARNAT, 2017)
Consumo aparente	Volumen de la producción nacional forestal maderable más el volumen de productos forestales importados menos el volumen de productos forestales exportados.	(SEMARNAT, 2017b)
Consumo de capital fijo	Depreciación experimentada durante el periodo contable por el valor corriente del stock de activos fijos que posee y utiliza un productor como consecuencia del deterioro físico, de la obsolescencia normal o de daños accidentales normales. Este concepto se basa en la vida económica prevista para cada bien y tiene por objeto cubrir la pérdida de su valor por obsolescencia (antigüedad o desuso) debido al uso o desgaste normal.	(INEGI, 2013)
Consumo intermedio	Valor de los bienes y servicios consumidos por un proceso de producción, como son las materias primas, combustibles, papelería, rentas y alquileres, honorarios, entre otros, valorados a precios de comprador. Se excluyen los activos fijos y los gastos en objetos valiosos y los costos por el desgaste del activo fijo.	(INEGI, 2013)
Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)	Acuerdo internacional que entró en vigor en 1994. Su objetivo principal es la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. La convención establece una distinción entre los países que la integran, según su nivel de desarrollo económico y así establece sus respectivos compromisos. Ese mismo año, México ratificó la convención. Actualmente la convención cuenta con 192 estados miembro (las partes) por lo que es una de las más representativas a nivel global.	(CONAFOR, 2017)
Corta anual	Es el volumen que se permite extraer en un periodo de tiempo (un año) constituido por el crecimiento del bosque y determinado por varios factores tales como el incremento corriente o medio anual, la estructura, el área y la edad de rotación.	(FAO, 2017)
Cuentas nacionales	Sistema mediante el cual el país contabiliza y registra a nivel macroeconómico las actividades, operaciones y flujos de la economía nacional, referentes a la producción, distribución, consumo, ahorro, inversión y sector externo.	(INEGI, 2013)
Cultivo perenne	Se les denominan cultivos de ciclo largo. Su periodo vegetativo se extiende más allá de los doce meses y por lo regular una vez establecida la plantación, se obtienen varias cosechas, mismas que son continuas o cíclicas, en función del tipo de plantación.	(SEMARNAT, 2017)
Datos de actividad	Datos sobre la magnitud de las actividades humanas que dan lugar a las emisiones o absorciones que se producen durante un periodo de tiempo determinado.	(CONAFOR, 2017)
Degradación	Proceso de disminución de la capacidad de los ecosistemas forestales para brindar servicios ambientales, así como capacidad productiva.	(DOF, 2017)
Economía	Está constituida por todas las unidades institucionales que son residentes en el	(INEGI, 2013)

total	territorio económico de un país	
Elasticidad (economía)	Es una medida de la sensibilidad de la cantidad demandada de un bien ante un cambio en su precio. La elasticidad busca medir el impacto, o el grado de las variaciones de las demandas o de las ofertas de los productos dadas diversas variaciones de precios	(Torres Chacón, 2010)
ENAREDD+	Representa el plan de acción de México para REDD+ que buscará reducir la deforestación y la degradación forestal, así como promover la conservación y el manejo forestal sustentable. La ENAREDD+ buscará la ejecución coordinada e integral de instrumentos existentes como incentivos y apoyos, así como una articulación entre instancias gubernamentales en distintos niveles y con diferentes actores de la sociedad.	(CONAFOR, 2017)
Excedente Bruto de Operación	Es el saldo contable de la Cuenta de Generación del Ingreso. Se define como el valor agregado menos las remuneraciones de asalariados por pagar, menos los impuestos sobre la producción por pagar más los subsidios por cobrar.	(INEGI, 2013)
Formación Bruta de Capital	Se constituye por el valor total de las adquisiciones menos disposiciones de activos fijos, más las adiciones al valor de los activos no producidos, la variación de existencias y las adquisiciones menos las ventas de objetos valiosos.	(INEGI, 2013)
Gases de Efecto Invernadero	Grupo de gases que se encuentran en la atmósfera y retienen parte de la energía que la superficie planetaria emite por haber sido calentada por la radiación solar. Los gases de efecto invernadero más comunes son: dióxido de carbono (CO ₂), metano (CH ₄), óxido nitroso (NO ₂), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF ₆).	(CONAFOR, 2017)
Gasto	Son los montos que los compradores pagan, o convienen en pagar, a los vendedores a cambio de los bienes o servicios que éstos suministran a los mismos compradores o a otras unidades institucionales designadas por ellos.	(INEGI, 2013)
Hogar	Es una unidad institucional, se trata de un pequeño grupo de personas que comparten la misma vivienda y juntan total o parcialmente sus ingresos y su riqueza, consumen colectivamente ciertos bienes y servicios, tales como la alimentación y el alojamiento; pueden actuar también como productores y lo hacen cuando la producción se desarrolla en empresas que son de su propiedad y están controladas directamente por miembros de los hogares, sea a título individual o en asociación con otros.	(INEGI, 2013)
Impuesto al Valor Agregado (IVA)	Se calcula sobre el precio del bien o servicio incluido cualquier otro impuesto sobre el mismo; se cobra por etapas y recae totalmente sobre los compradores finales, se califica como deducible porque los productores no están obligados a pagar al gobierno el importe total del impuesto que facturan a sus clientes, ya que pueden deducir el valor del impuesto que facturaron por sus compras de bienes y servicios de uso intermedio o de formación de capital. El IVA también se paga sobre las importaciones, adicional a los derechos u otros impuestos que éstas devenguen.	(INEGI, 2013)
Madera en rollo	Troncos de árboles derribados o seccionados, con un diámetro mayor a diez centímetros en cualquiera de sus extremos, sin incluir la corteza y sin importar la longitud.	(SEMARNAT, 2017b)
Maderas preciosas	Se aplica a la caoba y al cedro rojo, especies que por sus propiedades y características estéticas son de alta estimación y tienen un alto valor comercial.	(SEMARNAT, 2017b)

Manejo forestal	El proceso que comprende el conjunto de acciones y procedimientos que tienen por objeto la ordenación, el cultivo, la protección, la conservación, la restauración y el aprovechamiento de los recursos y servicios ambientales de un ecosistema forestal, con principios ecológicos, respeto a la integralidad funcional e interdependencia de recursos y sin que merme la capacidad productiva de los ecosistemas y recursos existentes en la misma.	(CONAFOR, 2017)
Permanencia	Es la duración y no-reversibilidad de la reducción de emisiones de GEI. En el caso de REDD+ en México se busca lograr la permanencia de la reducción de emisiones a través del desarrollo rural sustentable.	(CONAFOR, 2017)
Praderas	Se denomina pradera al bioma de flora con predominio de hierbas y de matorrales. El clima predominante es templado, entre semiárido y húmedo, con una estación cálida y otra fría a lo largo del año.	(Guerrero, 2017)
Precios básicos	Se definen como la cantidad a cobrar por el productor al comprador por una unidad de un bien o servicio, menos cualquier impuesto a pagar y más cualquier subsidio a cobrar como consecuencia de su producción o venta. Se excluyen los gastos de transporte facturados separadamente por el productor.	(INEGI, 2013)
Producción	Es una actividad realizada bajo el control y responsabilidad de una unidad institucional, quien utiliza insumos de mano de obra, capital y bienes y servicios para obtener otros bienes y servicios y adopta diferentes usos: puede ser vendida en el mercado o incorporarse a las existencias del productor; ser trocados por otros bienes o utilizarse para hacer pagos en especie; pueden ser usados para autoconsumo final o autoformación bruta de capital fijo del propietario; pueden suministrarse a otros establecimientos de la misma empresa para emplearse como insumos intermedios de sus procesos productivos y también pueden regalarse o venderse a precios de costo de una a otra unidad institucional.	(INEGI, 2013)
Producto forestal no maderable	Son aquellos bienes de origen biológico que no son de madera y que se derivan de los bosques, de otras tierras boscosas y de los árboles fuera del bosque.	(SEMARNAT, 2017b)
Producto Interno Bruto	Suma de los valores monetarios de los bienes y servicios producidos por el país, sin incurrir en la duplicación derivada de las operaciones de compra-venta que existen entre los diferentes productores.	(INEGI, 2013)
Producto maderable	Bien obtenido del resultado de un proceso de transformación de materias primas maderables, con otra denominación, nuevas características y un uso final distinto. No se consideran parte del proceso de transformación, en los que el bien es empacado para su embarque, transformación y venta.	(SEMARNAT, 2017b)
Restauración forestal	El conjunto de actividades tendentes a la rehabilitación de un ecosistema forestal degradado, para recuperar parcial o totalmente las funciones originales del mismo y mantener las condiciones que propicien su persistencia y evolución.	(CONAFOR, 2017)
Resto del mundo	Está constituido por todas las unidades institucionales no residentes del país de análisis que realizan transacciones o mantienen otro tipo de relaciones con las unidades residentes.	(INEGI, 2013)
Sectores	Agrupación de actividades económicas. Para la formación de los sectores económicos dentro del SCIAN, se ha tomado en cuenta la conveniencia a nivel internacional de desglosar de manera más especializada, cada una de las actividades económicas principales: Manufacturas, Comercio y Servicios; y una gran agrupación donde se integran los sectores faltantes, conformándose así un total de 20 sectores para toda la economía que agregan subsectores.	(INEGI, 2013)

Servicios	Son actividades que no pueden intercambiarse, mantenerse en existencias ni comercializarlos por separado de su producción. Sobre la mayoría de ellos no se pueden establecer derechos de propiedad y en general, consisten en introducir cambios en las condiciones de las unidades que los consumen.	(INEGI, 2013)
Servicios ambientales	Se definen como todos aquellos beneficios que de los ecosistemas la población humana obtiene -directa e indirectamente- para su bienestar y desarrollo.	(Challenger A., 2002)
Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN)	Es el clasificador de actividades económicas único para la región de América del Norte. El SCIAN contiene categorías acordadas de forma trilateral por Estados Unidos (EE.UU.), Canadá y México, y otras de detalle nacional. Está compuesto por cinco niveles de agregación: sector, subsector, rama, sub-rama y clase de actividad, identificados con dos, tres, cuatro, cinco y seis dígitos, respectivamente. El sector es el nivel más general; la clase, el más desagregado. El SCIAN 2007 contiene 20 sectores, 94 subsectores, 304 ramas, 617 sub ramas y 1 049 clases de actividad económica. Las actividades económicas clasificadas en él se encuentran agrupadas de forma tradicional en tres grandes grupos: actividades primarias, secundarias y terciarias.	(INEGI, 2013)
Sistema de Cuentas Nacionales	Es un conjunto coherente, sistemático e integrado de cuentas macroeconómicas, balances y cuadros basados en un conjunto de conceptos, definiciones, clasificaciones y normas de contabilidad internacionalmente convenidos.	(INEGI, 2013)
Sistema MRV	Sistema de supervisión que documenta el monitoreo de emisiones de dióxido de carbono y lo reporta en forma transparente, mediante una verificación evalúa los cambios en las tasas de deforestación, degradación, incremento de acervos de carbono y posibles fugas.	(CONAFOR, 2017)
Subsidios a la producción	Son asignaciones corrientes, sin contrapartida, que el gobierno otorga a las unidades como consecuencia de su participación en la producción. Ejemplo de ellas son las erogaciones destinadas a cubrir el total de la nómina de sueldos y salarios y las otorgadas a las empresas para que éstas puedan reducir la contaminación en que directamente incurren.	(INEGI, 2013)
Sueldos y salarios	Son los pagos que realiza la unidad económica para retribuir el trabajo ordinario y extraordinario del personal dependiente de la razón social, antes de cualquier deducción retenida por los empleadores. Incluye aguinaldos, comisiones sobre ventas que complementan el sueldo base, primas vacacionales, bonificaciones, incentivos, gratificaciones, bonos de productividad y crédito al salario. Excluye los gastos en pasajes y viáticos, alimentación y en general los gastos reembolsables al trabajador; los pagos al personal que no depende de la unidad económica y que cobró exclusivamente con base en honorarios, comisiones o iguales; y los pagos que la unidad económica realizó a otra razón social por concepto de suministro de personal, pensiones y pagos por despido o terminación de contrato.	(INEGI, 2013)
Tierra de monte	Material de origen mineral y orgánico que se acumula sobre terrenos forestales y preferentemente forestales.	(SEMARNAT, 2017b)
Valor Agregado	El Valor Agregado es el saldo contable de la cuenta de producción de una unidad o sector institucional, de un establecimiento o de una industria. Mide el valor creado por la producción y puede calcularse antes o después de deducir el consumo de capital fijo de los activos fijos utilizados.	(INEGI, 2013)

Resumen ejecutivo

Este informe recopila la investigación y resultados del estudio para determinar los enfoques metodológicos para la modelación económica del sector Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSS) para la estimación de Gases de Efecto Invernadero (GEI). El estudio se divide en tres actividades.

La **primera** consistió en la documentación y revisión de modelos económicos que vincularan variables económicas con las emisiones de GEI del sector USCUSS. Se consideró una clasificación de tres tipos de modelos: 1) agregados, 2) desagregados e 3) integrados. Asimismo, se revisaron nueve modelos de los cuales fueron seleccionados cuatro aplicando un análisis cualitativo para identificar los más apropiados para el contexto mexicano. Recomendaciones de especialistas sobre el uso de estos instrumentos y consideraciones técnicas basadas en su experiencia fueron tomadas en cuenta por medio de entrevistas.

El objetivo de la **segunda actividad** fue realizar un análisis comparativo de los cuatro modelos seleccionados: A) modelo de equilibrio general computable Boyd-Ibarrarán, B) modelo de equilibrio general computable MEGA, C) The Global Forest Model, y D) Probit índice de deforestación. Un aspecto que resaltó durante la revisión y análisis de los modelos fue la interrelación del sector forestal con el agropecuario. Entender e incluir la relación de estos dos sectores es fundamental, para las comunidades rurales mexicanas los bosques representan una fuente de ingresos, y el aprovechamiento y uso de este recurso natural se vincula a la satisfacción de sus necesidades económicas; por lo que la decisión sobre las actividades de uso de suelo, en muchos casos se asocia con los precios de los productos que pueden cultivar si dan un uso no forestal a sus terrenos.

Se seleccionó un modelo de equilibrio general computable como el enfoque metodológico más apropiado como resultado de aplicar el siguiente proceso de toma de decisión: 1) caracterización del sector forestal maderable, 2) elaboración de un árbol de

decisión para la selección del modelo, 3) aplicación del árbol de decisión, 4) selección del modelo más apropiado.

Se propuso utilizar el modelo desarrollado por Araujo-Gutiérrez Z. M. (2016) por su facilidad de modificar y porque cumple con las siguientes características deseadas: 1) analizar e incluir las relaciones de otros sectores, principalmente el agrícola, 2) ser modular, es decir, que brinde la oportunidad de ahondar en algún aspecto del modelo, en caso de que se requiera un mayor detalle, por ejemplo la inclusión del desempleo rural, 3) permitir una actualización a partir de datos que se generan periódicamente en México, 4) estar documentado en su totalidad, de tal forma que pueda ser replicable y ajustable.

La tercera actividad consistió en desarrollar el enfoque metodológico del modelo de equilibrio general tanto estático como las bases del modelo dinámico que permitiera proyectar las actividades del sector USCUS y sus emisiones de GEI y CCVC. Para realizar el MEGA se agregaron las 259 ramas de la economía mexicana en 13 sectores: 1) energía, 2) transporte, 3) procesos industriales y uso de productos, 4) procesos ganaderos, 5) procesos maderables, 6) procesos agrícolas, 7) procesos papel, 8) aprovechamiento forestal, 9) agrícola anual, 10) agrícola perenne, 11) ganadería, 12) residuos y 13) servicios. Estos sectores se agruparon de esta forma para representar los cinco sectores del IPCC y permitir tener desagregadas las actividades que componen el sector Agricultura, Silvicultura y otros usos de suelo (AFOLU, por sus siglas en inglés), así como a los sectores que emiten más emisiones en la economía mexicana. Para representar a los consumidores, se determinaron dos categorías: rural y urbana.

Los insumos que requiere este modelo se obtuvieron de bases de datos nacionales oficiales o de publicaciones de revistas y documentos arbitrados, estos son: Matriz de Insumo Producto 2012 (MIP), Encuesta Nacional de Ingreso Gasto de los Hogares 2016 (ENIGH), informes de resultados de SHCP y publicaciones económicas de revistas arbitradas como *Trimestre Económico*.

El MEGA desarrollado muestra, a través de ecuaciones simultáneas, el funcionamiento de los mercados y su impacto macroeconómico; para ello, se describe un estado base o situación actual y a partir de ahí se hacen simulaciones. Este modelo es una aproximación de la situación económica, en la cual se simula numéricamente la estructura de equilibrio de una economía. De la maximización de la utilidad se obtienen las funciones de demanda para cada bien y las demandas de mercado se definen como la suma de cada una de las demandas individuales.

La tecnología utilizada en la producción se describe por funciones de producción con rendimientos constantes o decrecientes a escala y por productores maximizadores de beneficios. Un equilibrio en este modelo se caracteriza por un conjunto de precios y niveles de producción en cada industria de tal manera que, para todos los bienes, cada demanda de mercado es igual a la oferta de mercado. En la economía existen cuatro tipos de agentes que son precio aceptantes: consumidores representativos, un productor para cada uno de los sectores en los que se divide la economía, un gobierno que recauda impuestos, da subsidios y consume bienes y servicios, y una economía externa global.

Cada uno de los bienes es producido en una industria que actúa en un ambiente de competencia perfecta y produce un bien con el empleo de productos intermedios y factores. Se asume que la economía no puede alterar los precios internacionales y puede comprar todos los bienes importados que desee.

Después del modelo en equilibrio cero se seleccionaron y describieron teóricamente cuatro escenarios de simulaciones que se agrupan en dos categorías: 1) Ajustes de política y 2) Contribuciones Nacionalmente Determinadas (CND). Dentro de ajustes de política se elaboraron los planteamientos teóricos de tres escenarios, el primero consistió en un impuesto a los sectores agrícola anual y agrícola perene del 20%, con el objetivo de identificar un posible efecto en el incremento de la producción forestal debido a un cambio de uso de suelo; el segundo escenario, se basa en la lógica de este primer escenario con un impuesto diferenciado por sector, del 25% al ganadero (ganadería y procesos de

ganadería) y un impuesto del 15% al agrícola anual y procesos agrícolas, el supuesto es que existirá una preferencia hacia actividades forestales o hacia la agricultura perenne; el tercero fueron una serie de aranceles a importaciones: procesos maderables del 10%, procesos de papel 20%, y aprovechamiento forestal 15%, el objetivo de este escenario, es incrementar la producción dado que es más caro obtener productos del extranjero.

En el caso de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas, únicamente se desarrolló un escenario: incrementar la producción forestal, de tal forma que en 2030 se tengan 15 millones de hectáreas (ha) de bosques y selvas de manejo forestal. Con base en la superficie forestal existente en 2012 -con el objetivo mantener la consistencia con la base de datos económica- se extrapoló cuánto se requería incrementar anualmente para llegar a la meta planteada, a partir de ahí se estableció el supuesto de incrementar 5.8% el capital del sector aprovechamiento forestal, que representará un incremento en el mismo porcentaje de la superficie forestal destinada a estas actividades.

En este informe también se incorporó una propuesta de modelo dinámico, en la que se presentaron las especificaciones de las ecuaciones requeridas en el modelo y los supuestos en los que se fundamenta, con el objetivo de que se tengan las bases conceptuales para desarrollar el modelo dinámico que permita hacer proyecciones sobre las emisiones futuras a partir de variables económicas. El último elemento que se incluyó es el desarrollo de recomendaciones y propuestas de siguientes pasos para mejorar el modelo y para que éste pueda ser utilizado para desarrollar otros con mayor nivel de complejidad.

1. Introducción

Actualmente la humanidad se enfrenta a uno de los problemas más graves de su historia, el cambio climático. Para prepararse ante esta crisis los países han desarrollado diferentes estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático y sus efectos. La Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha dado un espacio de discusión y colaboración entre los países que establecen acuerdos y orientaciones metodológicas para que reporten sus avances en materia de Cambio Climático. Para ello existen tres instrumentos principales: las Comunicaciones Nacionales, los Informes Bienales de Actualización (BUR, por sus siglas en inglés) y las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (CND). Los dos primeros incluyen un Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI), en el cual los países reportan las emisiones de Gases de Efecto Invernadero que producen en cinco sectores principales: Energía, Procesos Industriales, Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura, Agricultura y Residuos (IPCC, 1996).

La información que se genera en el INEGEI es fundamental para poder establecer las metas de reducción de emisiones de bióxido de carbono (CO₂) que los países reportan en las CND, y para el sector forestal en particular, resulta útil para elaborar el Nivel de Referencia de Emisiones Forestal (NREF) y los Anexos Técnicos de REDD+. Estos documentos clave reflejan el compromiso que tiene México y contribuyen al establecimiento de las contribuciones en reducción de emisiones que tendrá el país.

En el caso de México, el compromiso internacional va acompañado de acciones nacionales. Por ejemplo, se han presentado cinco Comunicaciones Nacionales -la sexta está en desarrollo-, un BUR, el NREF y las CND. En la planeación nacional se incluye el tema de cambio climático dentro del Plan Nacional de Desarrollo¹ y se cuenta desde 2012 con una Ley General de Cambio Climático (LGCC) que establece los principios rectores de esta

¹ En la estrategia 4.4.3 Fortalecer la política nacional de cambio climático y cuidado al medio ambiente para transitar hacia una economía competitiva, sustentable, resiliente y de bajo carbono.

política nacional sobre mitigación y adaptación al cambio climático. Dentro del marco legal, se establece la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) como instrumento rector, que describe los ejes estratégicos y líneas de acción de los tres órdenes de gobierno de forma transversal (federal, estatal y municipal). A nivel federal, el Programa Especial de Cambio Climático (PECC) define los objetivos en materia de adaptación y mitigación para el sexenio en curso. A nivel estatal y municipal, de acuerdo con lo dispuesto en la LGCC, se deberán desarrollar los programas de las entidades federativas y los programas municipales, respectivamente, en materia de cambio climático, en armonía con las disposiciones federales.

Para lograr el éxito de los compromisos nacionales e internacionales se requiere un adecuado desarrollo y ejecución de políticas públicas y programas en materia de Cambio Climático, que estén basados en la mejor ciencia posible y analicen el problema de forma integral, a la vez que tomen en cuenta los componentes social, económico y ambiental.

El objetivo principal del presente estudio consiste en identificar los enfoques metodológicos más ventajosos para modelar la actividad económica prospectiva del sector USCUS y sus emisiones de GEI y CCVC, para robustecer las estimaciones de la línea base de emisiones de México, a partir de desarrollar tres actividades principales:

1. Revisión de la literatura y generación de un marco teórico sobre los modelos económicos capaces de estimar y proyectar las emisiones de GEI y CCVC del sector USCUS.
2. Selección y análisis comparativo de los enfoques metodológicos de modelos económicos capaces de pronosticar la actividad económica y las emisiones de GEI y CCVC del sector USCUS aplicables a México.
3. Determinación del enfoque metodológico y propuesta teórica para modelar la actividad y emisiones de GEI y CCVC del sector USCUS.

Un aspecto que resultó fundamental dentro de este estudio fue recopilar información de expertos nacionales e internacionales, que enriquecieran los modelos y los supuestos a utilizar. Esto se realizó a través de entrevistas a académicos, sector público, organismos no gubernamentales y especialistas internacionales.

Los académicos seleccionados pertenecían a diferentes instituciones nacionales, con amplia experiencia en la modelación económica del cambio climático, la mayoría han desarrollado modelos funcionales para los diferentes sectores y tienen experiencia con modelos económicos específicos para el sector USCUS, como parte de alguna investigación (Tabla 1).

Tabla 1. Académicos seleccionados

NOMBRE	INSTITUCIÓN
José Alberto Lara Pulido	Universidad Iberoamericana
Eduardo Vega López	Universidad Nacional Autónoma de México
Alejandra Elizondo	Centro de Investigación y Docencia Económicas
María Eugenia Ibararán	Universidad de Las Américas Puebla

A continuación se presentan los principales comentarios recibidos:

- Una base de datos sólida es básica para elaborar un modelo de equilibrio general, es importante que recoja datos nacionales oficiales.
- Se requiere ser conscientes con los supuestos y enfoques que se utilicen para los fenómenos naturales.
- Se debe de reconocer los límites de las políticas públicas, existen fenómenos naturales que se pueden reducir, pero no eliminar, por ejemplo, los incendios.
- Se puede desarrollar un modelo por módulos, que permita detallar específicamente un componente, e incorporarlo en un modelo completo (integración de modelos microeconómicos dentro de un modelo de equilibrio general).

En el sector público, se entrevistaron a representantes de instituciones gubernamentales que desarrollan actividades en el sector USCUS y REDD+. Estas personas no necesariamente han desarrollado modelos económicos, no obstante, brindaron información

relevante sobre la visión del sector en los próximos años, y la incidencia de políticas públicas que se deberían incorporar en los modelos (Tabla 2).

Tabla 2. Entrevistas del sector público

NOMBRE	INSTITUCIÓN
Carlos Muñoz Piña	Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP)
Enrique Serrano	Comisión Nacional Forestal (CONAFOR)
Eder Larios	
Jorge Fernández	

Las principales recomendaciones que brindaron los especialistas del sector público son:

- Será útil ampliar la lista de personas a entrevistar con los nombres de los especialistas económicos con los que CONAFOR ha trabajado.
- Es importante tener una pregunta de investigación clara, que permita que el modelo se construya de forma sólida. Deben incluir al comercio exterior, ya que afecta el mercado nacional de forma significativa, en particular el mercado de Chile.
- Se debe incluir al sector agropecuario ya que es el que genera más presión para el cambio de uso de suelo.

1.1 Sector USCUS

El sector USCUS puede tanto emitir como absorber emisiones de CO₂. Con base en las Guías de las Buenas Prácticas del IPCC 2003, se consideran dos condiciones en los usos del suelo para estimar las emisiones de GEI del sector; 1) las permanencias en el mismo uso de suelo que generan absorciones de CO₂ (permanencia de tierras forestales, pastizales, y tierras de cultivo perenne); y 2) las transiciones de Tierras Forestales o Pastizales a otros usos del suelo que generan emisiones de CO₂ y de otros usos del Suelo a Tierras Forestales y Pastizales, con incrementos en los acervos de carbono. Los depósitos cuantificados son la biomasa viva (aérea y raíces) y suelos minerales, así como las emisiones por incendios en tierras forestales y pastizales. Se presentan las emisiones y absorciones de CO₂ como

consecuencia de los cambios y permanencias; así como las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O por incendios forestales.

1.1.1 Emisiones de GEI del Sector USCUS

Para el desarrollo de un modelo que represente el comportamiento ambiental y económico del sector USCUS, es necesario primero conocer la dinámica de las emisiones de GEI. De acuerdo con el primer Informe Bienal de Actualización (INECC, 2015), las emisiones del sector USCUS fueron para 2013 de 32,424.86 Gg de CO₂e, que representa el 4.9% del total de las emisiones del país, el cual incluye emisiones y absorciones.

Dinámica de las emisiones de GEI de USCUS

Las emisiones que se reportan en el BUR, tienen un origen antropogénico, es decir, las emisiones que ocurren en el sector son debidas a actividades humanas y ocurren en áreas de bosque gestionado² (IPCC, 2017).

Las orientaciones del IPCC 2003, bajo las cuales se elaboró el INEGI de México, incluyen los siguientes rubros donde se generan las emisiones de GEI: 1) Emisiones de CO₂ resultantes de los cambios en las existencias de carbono en la biomasa (aérea y subterránea), materia orgánica muerta y suelos minerales, para todas las tierras gestionadas debidas a sus cambios de uso; 2) Las emisiones de CO₂ y no CO₂ producidas por incendios en todas las tierras gestionadas; 3) El cambio en las existencias de carbono relacionado con los productos de madera recolectada (leña).

Los cambios de existencias de carbono debidos a la reducción del carbono almacenado ocurren a través de la deforestación, la cual es la pérdida de carbono almacenado al cambiar de uso forestal a otros usos, éstos pueden ser: pastizal, tierras forestales,

² Para el primer BUR de México se considera que todas las tierras forestales del país están bajo gestión, dado que no se puede asegurar que alguna de esas superficies no haya tenido algún tipo de intervención humana en los últimos 20 años.

asentamientos u otras tierras. La degradación forestal, por su parte, es la disminución de la calidad de la superficie forestal, lo que implica que se dispone de menos carbono almacenado. Las emisiones de este tipo representan más del 70% de las emisiones del sector (CONAFOR, 2017).

Los incendios forestales, que ocurren en el país están cuantificados en el BUR, sin importar si son incendios naturales u ocasionados³. Con base en los datos del último BUR, en el periodo 1995 a 2013 han ocurrido en promedio 8,812 incendios forestales que han afectado 317,869 hectáreas por año, en este periodo es importante considerar que se han tenido años extremadamente secos como 1998 y 2011 que tienen un comportamiento diferente, durante esos años se registraron en el país 14,445 y 12,113 incendios, respectivamente, lo que provoca que bajo ciertas condiciones, las emisiones del sector USCUS debidas a incendios se incrementen sin importar las actividades que se realicen para reducirlas (CONAFOR, 2014; SEMARNAT, 2017). Además, los incendios cumplen una función importante para la dinámica de los ecosistemas terrestres, sobre todo en los bosques templados y algunos matorrales para renovar la vegetación (SEMARNAT, 2017).

Los cambios en las existencias de carbono relacionado con los productos de madera recolectada incluyen, en principio, la recogida de leña, que se efectúa de diversas maneras, desde las talas ordinarias en esquemas de manejo y aprovechamiento forestal hasta la recogida de madera muerta. En el caso de México, el primer componente de aprovechamiento forestal no se incluye en el BUR, y la recogida de leña se captura en los factores de emisión y en el sector de energía.

Con base en lo indicado, debe tenerse en cuenta que existe cierta cantidad de emisiones que un modelo económico no podrá reflejar, ya que se deben al componente natural del sector USCUS.

³ Debido a que todas las superficies forestales de México se incluyen como superficies gestionadas.

Dinámica de las absorciones de GEI de USCUS

Las absorciones de CO₂ son causadas por el incremento de biomasa en los diferentes depósitos (biomasa área, subterránea y en el suelo, materia orgánica muerta y mantillo), esto puede ocurrir por dos formas: 1) cambios de uso de otras tierras a suelos forestales y praderas; 2) incrementos de carbono sin cambios de uso, por recuperación de tierras degradadas, y por permanencia de áreas forestales (IPCC, 2006).

Las absorciones se generan al incrementarse el carbono almacenado, con lo que se mejora la calidad de los bosques o praderas por el aumento en las superficies, a través de la reforestación y por el crecimiento natural de los bosques. Las absorciones por permanencias son de -172,997.61 Gg de CO₂e (IPCC, 2006).

1.1.2 Situación del sector forestal mexicano

En México 70% de la superficie terrestre del país corresponde a vegetación forestal (138 millones de hectáreas) (CONAFOR, 2017). Esta extensión permite que exista gran biodiversidad, altas tasas de captura de carbono y capital natural y que muchas comunidades cuenten con recursos locales para subsistir, se ha estimado que las áreas forestales están habitadas por 11.04 millones de personas (CONAFOR, 2014).

El componente rural del sector USCUS enfrenta graves rezagos sociales y económicos, por ejemplo, en el suelo forestal habita el 45% de las personas analfabetas de 15 años y más, el 68% de las viviendas sin drenaje, el 67% de las viviendas sin energía eléctrica y el porcentaje de hogares sin agua es del 30%, que es el triple de lo que ocurre en las ciudades (11%) (CONAFOR, 2014).

La tenencia de la tierra en México en las zonas forestales es de carácter social en su mayoría. Los núcleos agrarios están conformados por ejidos y comunidades; con base en el

catálogo de núcleos agrarios, existían en 2013 32,109 de ellos (RAN, 2017), que aproximadamente representa el 45% de la superficie forestal del país.

En el 20% de los ejidos y comunidades, el aprovechamiento forestal representa la actividad económica central, el resto lo utilizan como fuente de autoconsumo (CONAFOR, 2017).

En el Programa Nacional Forestal 2013-2018 (PRONAFOR 2014-2018), se identificaron 26 de los principales problemas que se perciben en el sector forestal, de estos, los que representan impactos económicos son:

1. Cambios de uso de suelo de forma clandestina.
2. Incremento en la presencia y afectación de incendios forestales de gran magnitud.
3. Poca Inspección y vigilancia, compleja discriminación de programas de manejo forestal.
4. No se cuenta con canales de almacenamiento, transformación y distribución de productos maderables.
5. Baja capacidad para la transformación de madera en pie o en rollo. Debido al rezago tecnológico en la industria de la madera.
6. Bajo nivel de integración productiva en el sector forestal, que conlleva a dificultades en la comercialización de los productos forestales.
7. Falta de acceso a mecanismos de capitalización (inversión y financiamiento).
8. Escaso desarrollo de plantaciones forestales comerciales.
9. Insuficientes capacidades de organización, planeación y autogestión de las personas propietarias y poseedoras de los recursos forestales.
10. Insuficientes conocimientos y técnicas para la transformación de madera en rollo.

Los problemas antes mencionados son consecuencia de los procesos de deterioro de los ecosistemas forestales, ya que no se puede entender al sector forestal como un sistema lineal; es, por el contrario, un sistema complejo y multifactorial en el que los aspectos sociales, económicos y demográficos juegan un papel fundamental.

Para comprender al sector rural mexicano se requiere considerar elementos como la pobreza, marginación, precios de bienes y servicios, aspectos culturales (usos y costumbres), seguridad, demografía y educación, así como su interrelación con las poblaciones urbanas, ya que las distorsiones que se generan están, en muchos casos, ligadas a elementos externos a las comunidades rurales (CONAFOR, 2014; Challenger & Dirzo, 2009).

Por lo tanto, una de las principales características que mueve a este sector son las necesidades económicas básicas de los habitantes. Los poseedores de terrenos forestales suelen hacer cambios en el uso de suelo para poder emplearlo en usos económicos alternativos al aprovechamiento forestal (el cual tiene rendimientos a largo plazo), con la idea de buscar rendimientos a corto plazo, lo que no necesariamente resulta rentable o sostenible en el tiempo. Algunos ejemplos de estos usos pueden ser agropecuarios, industriales o urbanos.

Esta problemática es identificada como relevante por la mayoría de los expertos entrevistados. Uno de los ejemplos que mencionaron al respecto es el cambio de uso de terrenos forestales a asentamientos para desarrollar casas de campo periurbanas en la zona centro de Chiapas; o el caso del cambio de uso forestal a agrícola en Michoacán para la producción de aguacate, o la palma de aceite en el sur del país (Esquivel, 2017), (Fernández & Larios, 2017). Por esto, es importante en el desarrollo de un modelo considerar la integración de variables sociales y económicas que reflejen las dinámicas que mueven al sector.

Con respecto al componente comercial del sector forestal, se estima que el aprovechamiento anual de madera es de 56 millones de m³ al año, con la inclusión de madera rural e industrial (FAO, 2017) y se utilizan más de 1,500 productos forestales no maderables. La contribución directa del sector forestal es de 5,000 millones de dólares por año y genera alrededor de 100,000 empleos permanentes cuyos sueldos son entre 3-4 veces superiores a los sueldos derivados de actividades agropecuarias (FAO, 2017).

La superficie de plantaciones comerciales es de 269 mil 600 hectáreas plantadas de diferentes especies maderables en todo el país, los estados de Veracruz, Tabasco, Campeche, Chiapas y Puebla son líderes en este esquema, con especies como caoba, eucalipto, melina y teca al sumar poco más del 65% del total nacional (CONAFOR, 2017). En México se utilizan alrededor de 1,000 productos no maderables (hojas, frutos, gomas, ceras, fibras, tierra, hongos, cortezas, entre otros), los cuales se obtienen de un amplio número de especies distribuidas en los diferentes ecosistemas presentes en el territorio nacional. Se han identificado aproximadamente 5,000 familias de plantas útiles y 215 especies de hongos (FAO, 2017).

1.1.3 Caracterización económica del sector USCUS en México

La participación del sector forestal en la economía mexicana ha sido constante en los últimos 15 años, con una representatividad del 0.8% aproximadamente. De acuerdo con el valor del PIB nacional, en el segundo trimestre del 2017, el sector agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza generó 813,514 millones de pesos corrientes, monto que significó 4.2% del PIB Nominal a valores del 2017; específicamente aprovechamiento forestal corresponde a 18,728 millones de pesos (INEGI, 2017) .

En 2015 la producción forestal maderable en México fue de 6.1 millones de m³r (metros cúbicos rollo). La producción forestal no maderable, sin considerar la extracción de tierra de monte, ascendió a 103.9 mil toneladas en 2015, lo que representa un incremento del 15.85% con respecto al 2014. El PIB forestal (que es la suma del PIB de la industria de la madera y el de la fabricación de pulpa, papel y cartón) representa el 0.28% del PIB nacional y ha tenido una variación del 2.8% con respecto al año anterior (INECC & SEMARNAT, 2015; SEMARNAT, 2017b). El volumen de la producción forestal en México se subdivide en dos categorías: 1) maderable constituido por materiales leñosos y 2) no maderable

compuesto por el resto de productos que no tienen una composición leñosa y productos no arbóreos (SEMARNAT, 2017b).

Tabla 3. Productos forestales maderables y no maderables

Producción maderable	Por grupo: pino, oyamel, otras coníferas, encino, otras latifoliadas, preciosas y comunes tropicales. Por producto: Escuadría, celulosa, chapa y triplay, postes, pilotes y morillos, leña, carbón y durmientes.
Producción no maderable	Resinas, fibras, gomas, ceras, rizomas, tierras de monte, hojas, frutos, hongos, cortezas, entre otros.

Fuente: (SEMARNAT, 2017b).

Los principales productos que se obtuvieron durante el año 2015 fueron: la madera para aserradero (escuadría y durmientes) con el 73.2% de la producción -Durango y Chihuahua son los principales representantes-, los combustibles (leña y carbón) con el 11.8% -liderados por Sonora y Tamaulipas- y el restante 15.0% se destinó a celulósicos, chapa y triplay, postes, pilotes y morillos -los principales productores son Durango, Tabasco y Chihuahua- (SEMARNAT, 2017b).

A nivel de grupo de vegetación la producción forestal nacional maderable se compone de coníferas (pino, oyamel y otras coníferas) con el 79.1%, las latifoliadas (encino y otras latifoliadas) con el 15.2% y las tropicales (preciosas y comunes tropicales) con el 5.7% (SEMARNAT, 2017b).

En 2015 en México se otorgaron 1,442 autorizaciones de aprovechamiento forestal maderable por un volumen total de 22, 133,909 m³r. Los estados que mayor volumen de aprovechamiento tienen son: Chihuahua, Durango, Oaxaca, Guerrero y Quintana Roo, que en conjunto suman el 74.5% del total nacional

En el caso de los no maderables en 2015, se otorgaron 323 códigos de identificación (avisos) y 97 autorizaciones por un volumen total de 1,170,078. Las entidades que

destacan por la cantidad de volumen aprovechado están Estado de México, Morelos, Michoacán, Zacatecas y Durango, que en conjunto suman 76.6% del total nacional.

Balanza comercial maderable en México

La balanza comercial de los productos forestales y sus manufacturas se elabora con información sobre el volumen y valor de las importaciones y exportaciones. Los datos que se emplean son del Sistema de Información Arancelaria de la Secretaría de Economía. El saldo de la balanza comercial de productos forestales se ha mantenido en déficit constante en los últimos 5 años.

La balanza comercial de productos forestales tiene tres componentes: productos maderables, celulósicos y papel; este último tiene una mayor participación a nivel general, al ser el rubro de importaciones en el que presenta los valores más altos y, como consecuencia, aporta el mayor déficit al saldo final. El segundo lugar lo ocupan los productos maderables tanto en las importaciones como en las exportaciones (CONAFOR, 2017).

En conjunto, entre los productos maderables, celulósicos y papel, se exportaron 5,444.1 miles de m³r y se importaron productos por un volumen total de 34,809.2 miles de m³r. El resultado de la diferencia de estos conceptos dio un déficit comercial de 29,365.0 miles de m³r. El valor en millones de dólares se presenta en la Tabla 4 (SEMARNAT, 2017b).

Tabla 4. Balanza Comercial de Productos Forestales de México para 2015

Concepto	Exportaciones	Importaciones	Saldo
Productos maderables	415,315	1,628,734	-1,213,420
Productos celulósicos	61,679	964,719	-903,041
Productos de papel	1,438,994	5,514,165	-4,075,171
Total	1,915,987	8,107,618	-6,191,631

Fuente: (SEMARNAT, 2017b).

El consumo aparente se incrementó un 0.4% con respecto al año anterior, el promedio de consumo de los últimos cinco años fue de 19,143 millones de m³r. En el periodo 2011-2015 la producción reportada cubrió únicamente el 31% del consumo aparente. En 2015, la relación producción-consumo indica que la producción forestal maderable, con 6.1 millones de m³r, satisfizo el 32% del consumo aparente que ascendió a 19.3 millones de m³r, la mayoría madera en escuadría (46.5%), los celulósicos (32.5%) y chapa y triplay (18.1%) (SEMARNAT, 2017b),

Aprovechamiento forestal y emisiones de GEI

La caracterización anterior es importante ya que la madera cosechada de las tierras forestales, de cultivo y de otros tipos de usos de la tierra permanece en los productos durante diferentes períodos de tiempo, lo que implica que la parte de aprovechamiento forestal que se utiliza para productos no genera emisiones de GEI al momento de su corte.

De acuerdo con las Directrices del IPCC 2006, se deben de estimar y declarar las emisiones de todos los Productos de Madera Recolectada (PMR) anual. PMR incluye todo el material de madera (incluida la corteza) que abandona los sitios de recolección. El tiempo durante el cual se conserva el carbono en los productos varía según el producto y sus usos. Por ejemplo, la madera combustible y los residuos de la planta pueden quemarse en el año de la cosecha; es probable que muchos tipos de papel tengan una vida útil en usos de menos de 5 años, lo cual puede incluir el reciclado del papel; y la madera aserrada o los paneles usados en edificios pueden conservarse durante décadas, hasta más de 100 años. Los PMR descartados pueden depositarse en sitios de eliminación de desechos sólidos (SEDS), donde pueden persistir por periodos prolongados (IPCC, 2006).

Para estimar las emisiones de GEI de un país, de acuerdo con las Directrices del IPCC 2006, se requiere documentar: 1) El cambio anual en las existencias de carbono en los PMR en el país, incluidas las procedentes tanto de la cosecha nacional como de las

importaciones (Gg de carbono por año); 2) El cambio anual en las existencias de carbono de los PMR fabricados con la madera recolectada en el país, incluido los exportados a otros países (Gg de carbono por año); 3) Las importaciones anuales de todos los tipos de madera y papeles al país (Gg de carbono por año); 4) Las exportaciones anuales de todos los tipos de madera y papeles desde el país (Gg de carbono por año); 5) La recolección anual para productos de madera en el país (Gg de carbono por año); por lo que se debe conocer la dinámica del aprovechamiento forestal y de la balanza comercial (IPCC, 2006).

Con base en las actividades que se tengan en el aprovechamiento forestal y el destino final de sus productos, puede presentarse un valor negativo de aporte de PMR que reduce las emisiones totales del sector AFOLU y uno positivo que aumenta el total de emisiones procedentes de dicho sector, por lo que es importante entender la dinámica de los productos maderables y no maderables a fin de vincularlas con las emisiones de GEI y documentar las posibles absorciones del sector.

1.1.4 Relación entre las emisiones de GEI y la economía

Las emisiones de GEI del sector USCUS se pueden modelar a través de diferentes aproximaciones conceptuales, las cuales estructuran y priorizan las variables de forma diferente para responder la pregunta: ¿Qué variables económicas influyen en las emisiones del sector USCUS? En este sentido, se debe tener cuidado de no catalogar un modelo como mejor que otro de forma absoluta, ya que cada forma conceptual permite analizar el sector con una mayor precisión, en función de las variables de entrada y los supuestos que se tengan. De forma general hay tres preguntas que pueden modelar las emisiones del sector USCUS: ¿Qué variables económicas influyen en las emisiones por deforestación?, ¿cómo el mercado de madera influye en las emisiones de GEI? y ¿qué variables económicas pueden explicar las emisiones de GEI a través de las interacciones con otros mercados?

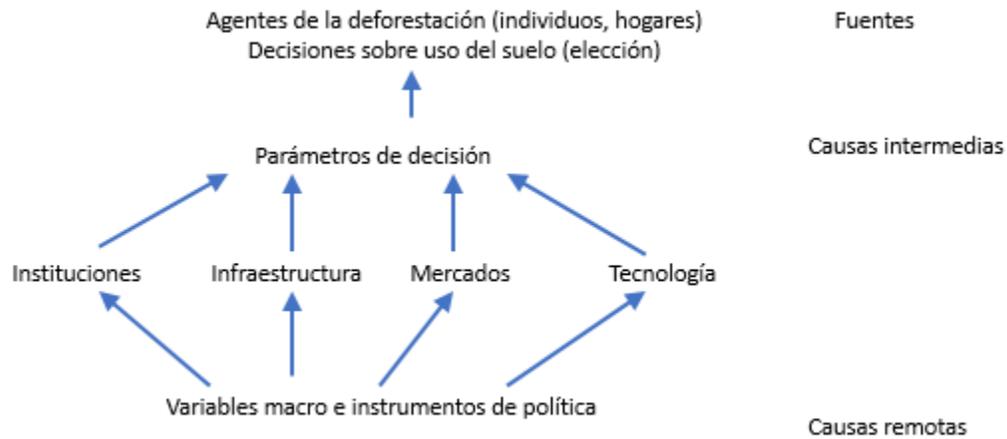
Enfoque: Variables económicas que expliquen la deforestación

Como se observa en los datos de emisiones del primer BUR el cambio de uso de suelo de Tierras Forestales y Pastizales, y de Tierras Convertidas a Tierras Agrícolas son los principales emisores -más del 70% de las emisiones del sector-; las dos transiciones se pueden conceptualizar como deforestación (deforestación para uso agrícola y ganadero), lo que en primera instancia lleva a pensar que un modelo que explique la deforestación podría ser útil y permitiría reflejar la situación del sector.

No obstante, un elemento importante a recordar es que la pérdida de bosques es un proceso complejo que no puede atribuirse a una relación lineal de causa efecto y que, aunque se logre modelar esta relación, los elementos que intervienen son dinámicos a lo largo del tiempo (Contreras Hermosilla, 2000). Adicionalmente, una misma causa puede tener consecuencias diferentes que dependen del contexto y de las circunstancias específicas; un mismo fenómeno puede tener efectos opuestos en el bosque, es decir, los factores causales multidimensionales pueden diferir significativamente entre regiones y en el tiempo, lo que dificulta que se desarrollen modelos generalizados (López, 2012).

Utilizar un modelo que analice las emisiones de GEI a partir de explicar la deforestación, puede generar resultados espurios debido a los efectos cruzados y correlaciones que existen entre las variables. El uso de este tipo de modelos tiene además el inconveniente de la selección de las variables, entender la deforestación a partir de sus impulsores obliga a seleccionar sólo algunos de ellos, y dejar otros elementos fuera. Una forma de estructurar las causas de la deforestación en estos modelos es a partir de causas remotas, causas intermedias y las fuentes de las emisiones, las variables que influyen en la deforestación se presentan en la Figura 1 (López, 2012).

Figura 1. Variables que influyen en la deforestación



Enfoque de mercado forestal

Una forma diferente de analizar el problema de las emisiones del sector forestal es a través del mercado económico de los productos forestales maderables y no maderables. Conceptualmente esto presupone ventajas: 1) económicamente las variables son medibles a través de precios, demanda y oferta, lo que reduce la incertidumbre; 2) se cuenta con información de cuentas económicas para un periodo de tiempo y 3) los datos que se utilizan como insumo se producen periódicamente de forma oficial en México.

Adicionalmente, este enfoque también considera que un impulsor de deforestación es la necesidad económica, por lo que en un modelo se pueden incluir diferentes tipos de consumidores para analizar las relaciones existentes – que de forma indirecta captura este efecto- y si se logra hacer una trazabilidad de la cadena productiva del sector, también pueden considerarse las emisiones que salen del bosque pero que quedan almacenadas en productos maderables a largo plazo (por ejemplo muebles) (FAO, 2017).

El reto con este tipo de modelos en México son los datos requeridos para caracterizar el sector. Por ejemplo, no se cuenta con cifras exactas sobre la tala ilegal. De acuerdo con la Procuraduría Federal de protección al Ambiente (PROFEPA), entre 30 y 50%

de la madera que se produce en México es de procedencia ilícita. Lo que tiene las siguientes repercusiones: 1) Aumento de la tasa de deforestación en un 8%; 2) Reducción de 19% en la rentabilidad económica de los productores legales y; 3) Menor recaudación fiscal (IMCO, 2017). Si bien este modelo no elimina el problema de la complejidad para explicar las interacciones del sector, logra explicar cómo las interacciones económicas del sector forestal afectan las emisiones de GEI del sector USCUS.

Enfoque de integración con el sector agrícola

Una tercera forma de abordar la modelación de las emisiones de GEI es a través de un enfoque de mercado con inclusión del sector agrícola. Este enfoque permite entender cómo las interacciones y los cambios en otros sectores influyen también en la deforestación.

Este enfoque es uno de los más usados actualmente, la visión para el análisis de REDD+ es la vinculación entre el sector forestal y agrícola, este último es el primer gran impulsor para el cambio de uso de suelo, además la representación de los usos de la tierra requiere conceptualmente entender qué sucede en las superficies terrestres.

En México las actividades agropecuarias tienen una gran importancia en el medio rural. Este sector se desarrolla en las localidades rurales, aprovecha los recursos naturales y se constituye como una de las principales fuentes de empleo en este medio. Sin embargo, el gran reto en los últimos años ha sido lograr estabilizar la frontera forestal-agropecuaria para reducir las emisiones de GEI provenientes de la conversión de superficies forestales a usos agropecuarios, sin comprometer el desarrollo económico y la subsistencia de las comunidades.

Este enfoque de modelación es viable ya que no mejora la complejidad y permite entender las interacciones con otros sectores. El reto resulta en medir la influencia espacialmente explícita de las variables económicas agropecuarias en las superficies forestales. Tradicionalmente esto se enfocaba desde la perspectiva que, a mayor demanda

de productos agrícolas y pecuarios, se demanda más superficie y por ende hay mayor deforestación.

Actualmente, estas tendencias económicas comienzan a producir cambios, en parte debido a los programas de desarrollo silvopastoril y la mejora de tecnologías que intensifican producción en menor superficie. Este aspecto se ahondará más adelante y se presentarán diferentes perspectivas de la importancia de entender al sector agrícola, pecuario y forestal como uno sólo.

1.2 Modelación económica

Los modelos económicos son una representación de una teoría, evento o situación a través de variables y ecuaciones que explican o predicen cómo se comportarán, permiten obtener conclusiones y nuevos conocimientos sobre la forma en que unas variables influyen en el comportamiento de otras. Los modelos se refieren a un aspecto particular de la realidad social, el aspecto económico se refiere a los procesos de producción, distribución y consumo de bienes y servicios, aunque también se pueden incluir variables de otro tipo como pueden ser las ambientales (Chisari, Maquieyra, & Miller, 2012) (Torres Chacón, 2010).

Al ser una aproximación de la realidad, los modelos tienen cierta incertidumbre. La exactitud de un modelo depende de la confiabilidad de los datos de entrada, los supuestos y de la especificidad de las ecuaciones. Por ello es importante reconocer las limitantes que tiene y el objetivo para el que fue desarrollado (Torres Chacón, 2010).

Los modelos utilizan dos tipos de variables. Las variables endógenas que se definen dentro del modelo y las variables exógenas que son aquellas establecidas por el modelador, es decir, se toman como dadas, ya sea de una observación de la realidad o de un supuesto.

De forma general los modelos pueden organizarse en tres grandes grupos:

- Los modelos macroeconómicos (*agregados*), son aquellos que analizan de forma general la economía de un país y un sector, las interacciones sin el detalle interno de las variables (Torres Chacón, 2010). Estos modelos son como un mapa de la economía que permite una comprensión de la misma. Se enfocan en las interconexiones de los procesos económicos y la mayoría de ellos considera a las funciones de demanda como la agregación de las funciones de demanda individuales.
- Los modelos microeconómicos (*desagregados*), son más detallados y analizan a actores específicos de la economía (consumidores, productores). La limitante que tienen es que suelen ignorar efectos macroeconómicos e impactos en otros sectores.
- Los modelos integrados, que combinan elementos de los enfoques anteriores mediante la generación de diferentes escenarios económicos.

1.2.1 Modelos Agregados

Un modelo agregado o macroeconómico, es una herramienta diseñada para describir el funcionamiento de la economía de un país o región. Estos modelos en general trabajan con cantidades agregadas, tales como la cantidad total de bienes y servicios producidos, los ingresos totales obtenidos, el nivel de empleo de los recursos productivos y el nivel de precios (De Rus Mendoza & Campos, 2003).

Un modelo agregado no es útil para reflejar la realidad si no se pudiera comprobar la validez de éste con los valores reales de las variables, como tampoco servirá suponer cuáles son los valores de los parámetros que influyen en estas relaciones (De Rus Mendoza & Campos, 2003). Por esta razón, se utiliza la econometría, que es la aplicación de métodos

estadísticos y matemáticos al análisis de datos económicos con el propósito de dar contenido empírico a las teorías económicas al verificarlas o refutarlas (Portillo, 2017).

Estos modelos contienen relaciones de comportamiento, identidades, proposiciones analíticas e hipótesis que constituyen un sistema. Usualmente, están expresados en términos matemáticos en los cuales algunas variables son tomadas como datos, mientras que otras son determinadas a partir de estos, de acuerdo con relaciones preestablecidas entre ellas.

Los modelos agregados tienen la ventaja de permitir modelar la economía mexicana en su conjunto, donde se reconocen elementos clave como la balanza comercial o la producción de productos forestales en su conjunto, aunque no necesariamente permiten observar de forma específica las interacciones del sector forestal y las comunidades que ahí viven.

Otro punto a favor de estos modelos es que permiten modelar más de un sector, con lo que puede observarse de forma agregada, por ejemplo, la relación existente entre el sector agrícola y el forestal. Uno de los aspectos que mejor se podrían representar en este tipo de modelos es la relación entre los precios agrícolas con las tasas de deforestación para desarrollar aproximaciones de los costos de oportunidad.

1.2.2 Modelos desagregados

Los modelos desagregados o microeconómicos utilizan información a nivel del agente microeconómico (individuos, hogares, empresas), capturan cierta heterogeneidad, por lo tanto, permiten obtener resultados de políticas económicas a nivel desagregado.

En este sentido, basan su estudio en distintas teorías: la del consumidor, la de la demanda, la del productor, y la de los mercados de activos financieros:

- La teoría del consumidor: identifica los factores que intervienen en la toma de decisiones de un consumidor.

- La teoría de la demanda: la cantidad y calidad de productos, bienes y servicios disponibles en el mercado variará sus precios de acuerdo con la demanda de los agentes económicos individuales, considerados en conjunto o separadamente.
- La teoría del productor: las decisiones que toma una empresa productora para aumentar sus beneficios en el mercado, implican decisiones de orden interno, como la cantidad de trabajadores a contratar, sus horarios, lugar de trabajo y estándares de producción, así como la medida en que todo lo anterior variaría con un cambio de precios del producto en el mercado o en los materiales usados para su fabricación.
- La teoría de los mercados de activos financieros: considera los distintos tipos de mercados que pueden existir en relación con el número de oferentes y demandantes, ya se trate de monopolio, duopolio, oligopolio o competencia perfecta.

Uno de sus objetivos principales es comprender el comportamiento de empresas, hogares e individuos y la manera en que éstos influyen sobre los mecanismos de mercado que establecen los precios relativos a productos, bienes y servicios. De este modo, sus hallazgos son fundamentales en el estudio de la teoría económica, dado que son la base para modelos macroeconómicos.

1.2.3 Modelos Integrados

Los modelos integrados son aquéllos que vinculan y desarrollan en conjunto tanto elementos microeconómicos como macroeconómicos y generan información para una visión más integral de la economía. Sin embargo, son modelos que reflejan la realidad a partir de supuestos, variables y datos de entrada, por lo que su viabilidad depende en gran medida de la información con la que son alimentados.

Modelos de equilibrio general

Los modelos de equilibrio general son un ejemplo de modelos integrados, recogen las interconexiones existentes y los cambios internos que ocurren en una parte de la economía y la manera en que afectan a otras (Vegara, 2009).

Un modelo de equilibrio general es una aproximación de la situación económica, en la cual se simula numéricamente un punto de equilibrio de una economía; es un tipo de modelo multisectorial que representa de forma más realista la economía de un país para evaluar cuantitativamente los efectos sobre ésta de determinadas políticas, con el apoyo de un paquete computacional. Este modelo cuenta con la flexibilidad para representar cada uno de los sectores de una economía y a su vez, evaluar el impacto total de los efectos de choques externos o políticas públicas.

El modelo dispone de bases matemáticas para el análisis de equilibrio general, que provienen **de la estructura “Walrasiana”, complementada en 1951** por Arrow y otros (Arrow & Hahn, 1971). El modelo identifica un número de consumidores, cada uno de los cuales se supone que posee una dotación inicial de un número de bienes y factores, así como un conjunto de preferencias (Araujo-Gutiérrez Z. , 2012).

Un modelo de equilibrio general es sumamente versátil, ya que permite evaluar el impacto de los cambios en la política económica sobre la asignación de recursos, la distribución del ingreso, el impacto de problemas ambientales, el mercado de trabajo y el bienestar del consumidor. De esta manera los modelos de equilibrio general se han convertido en un método para analizar una gran variedad de políticas: comerciales, impositivas, de cambio estructural, cambiarias, sociales y ambientales (Araujo-Gutiérrez Z. , 2012) (Pérez-Mendoza, 2008)

La estructura básica de un modelo de equilibrio general consiste en mercados sectoriales, bienes y un número definido de consumidores, cada uno de los cuales tiene ciertas preferencias con una dotación inicial de factores. Los agentes buscan maximizar su utilidad, con base en la perspectiva neoclásica, con una función de demanda por cada bien y la oferta de los factores de producción. Para el caso de las funciones de oferta de bienes y servicios, éstas se definen por la maximización de las ganancias de los productores.

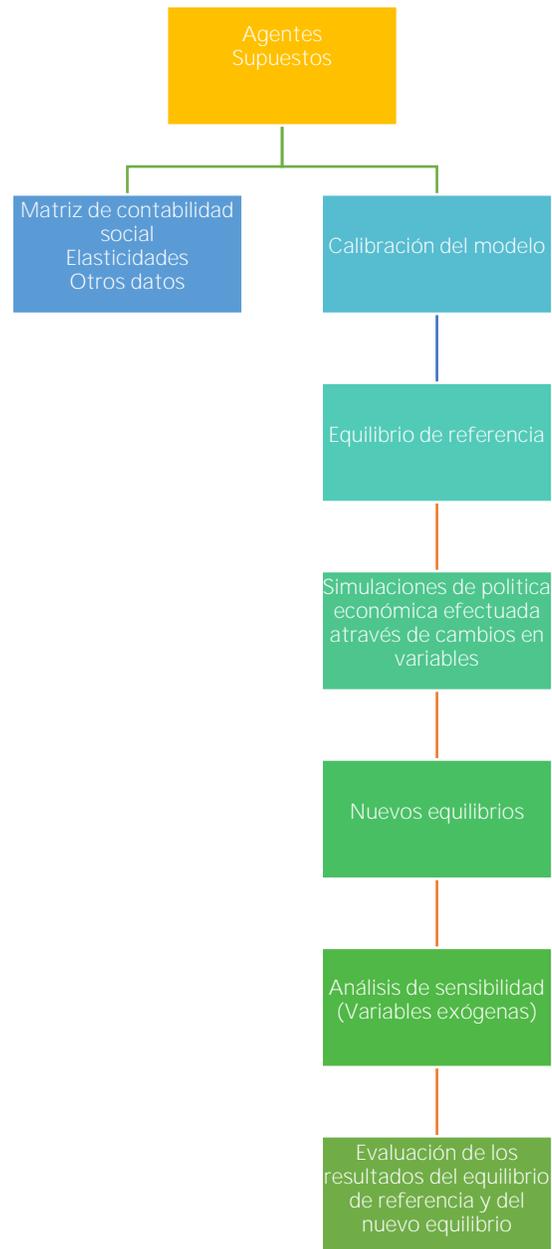
La tecnología es a escala. Es importante mencionar que sólo los precios relativos son relevantes, y a q u e las funciones de demanda son homogéneas de grado cero y las de producción son homogéneas en precios (Pérez-Mendoza, 2008). En la

Figura 2 se muestra la estructura y funcionalidad de un modelo general de equilibrio.

De forma general existen dos tipos de modelos de equilibrio general: los estáticos y los dinámicos. Los modelos estáticos modelan las reacciones de la economía en un solo punto en el tiempo. Para el análisis de política, los resultados de un modelo de este tipo muestran la diferencia (generalmente en forma de porcentaje de cambio) entre dos estados en el tiempo, un escenario base y los impactos o resultados después de un experimento con política.

Los modelos de equilibrio general dinámicos buscan modelar cada variable a través del tiempo. Un modelo dinámico parte del supuesto de que las decisiones presentes afectan al futuro y que el consumidor es consciente de ello (en que hay una consecuencia futura, mas no en el impacto). Lo que permite que estos modelos sean más realistas pero más difíciles de construir y resolver. Los elementos dinámicos pueden surgir de los procesos de ajuste parciales o de las relaciones de acumulación de la acción o flujo: entre el acervo de capital y la inversión, y entre la deuda externa y el déficit comercial (Torres, 2012).

Figura 2. Estructura de un modelo de equilibrio general computable



Desde el punto de vista de la construcción de los modelos, las diferencias entre un modelo estático y un modelo dinámico son principalmente:

- Los hogares pueden decidir entre el consumo y el ahorro para el futuro. En un modelo estático no existe esta elección.

- Los productores maximizan el valor de producir, con base en la producción actual y los posibles cambios hacia el futuro. Una de las implicaciones es que en el modelo dinámico donde las compañías tienen una producción marginal más baja que la tasa de interés del mercado, experimentan un retraso en el almacén de capital, que toma un tiempo en ajustarse.
- En los modelos dinámicos se puede optar por generar déficit a corto plazo, aunque en el horizonte tiende al equilibrio.
- Un modelo dinámico puede mostrar los impactos a largo plazo de diferentes políticas y medidas adoptadas por la economía.
- Una de las grandes desventajas que se tienen en los modelos dinámicos es que se incrementan los supuestos, lo que genera que se desapeguen de la realidad.

De acuerdo con las características mencionadas, el modelo estático es útil para comprobar la consistencia de las cuentas macroeconómicas y es computacionalmente más fácil de calibrar e interpretar. Las soluciones estables de los modelos dinámicos son a menudo cercanas en comparación con los modelos estáticos y el contar con ambos modelos funciona como un sistema de validación; por esta razón, es recomendado realizar primero un modelo estático que puede proporcionar un buen punto de partida para el modelo dinámico (Araujo-Gutiérrez Z. , 2012).

2. Análisis de modelos económicos

El primer paso de este apartado consiste en analizar los modelos económicos existentes en México, que pueden utilizarse para modelar las emisiones de GEI. Posteriormente se identifican los modelos internacionales que podrían utilizarse en el contexto mexicano. A continuación, se detallan las actividades realizadas.

2.1 Elementos para el desarrollo de un modelo en México

En este apartado se describen los elementos que un modelo debería contemplar para simular el comportamiento del sector USCUS de México, se presentan dos componentes principales, por un lado, los elementos que caracterizan la situación del país, y en una segunda parte los insumos que se han identificado que se pueden emplear para elaborar el modelo.

2.1.1 Descripción de los elementos

En los capítulos anteriores se presentó el marco teórico de los conceptos económicos y de la situación forestal del país, en este apartado se detallarán los conceptos clave que servirán como elementos para poder seleccionar el modelo. Estos criterios se alimentan además de los comentarios recibidos durante la primera ronda de entrevistas a diferentes expertos. Estos criterios permitieron hacer una primera aproximación para clasificar qué modelos se adecuan mejor a las necesidades del sector forestal mexicano. No obstante, esto no implica que vayan a ser incluidos en el modelo que se desarrolle; para ello se requiere evaluar también los insumos de datos que se pueden proporcionar.

Criterios económicos

Antes de elegir el modelo que se empleará para modelar las emisiones de GEI del sector USCUS, se necesita identificar los elementos necesarios para representar al sector forestal mexicano. A continuación, se detallan una serie de dichos criterios:

- A. Precios de productos nacionales e internacionales
 - a. Agrícolas, en específico aquellos que se tiene identificado ejercen presión en el uso de suelo, como por ejemplo el aguacate, el aceite de palma y la soya.
 - b. Forestales, precio de la madera y de otros productos maderables y no maderables.
 - c. Canasta básica y productos básicos (nacional).
- B. Subsidios sectoriales: forestales, agrícolas y sociales. Estos deben poderse desagregar por región, hogar o agente, de acuerdo con las necesidades específicas del modelo.
- C. Función de producción: producción forestal nacional e internacional, en la que se identifique la relación de la balanza comercial nacional con las importaciones.
- D. Costos de daños en sector forestal y agrícola, plantaciones, plagas, incendios, inundaciones.
- E. Costos de producción de productos forestales, agrícolas y de productos relacionados.
- F. Costos de oportunidad entre variables, por ejemplo, variables forestales y sus elementos de cambio, es difícil incluirlo y modelarlo. No obstante, sería de utilidad si algún modelo los incorpora.
- G. Unidades de trabajo requeridas y estratificación por tipo de trabajador requerido. Si se requiere trabajo permanente o de temporal, en la parte de cultivos o de productos no forestales las cosechas regularmente son temporales.
- H. Producto Interno Bruto por sector y su interrelación con otros sectores.
- I. Precios, producción, importaciones, exportaciones y aranceles de productos de interés que alteren la balanza comercial nacional para el sector forestal.

Criterios sociales

Un componente muy importante que influye en el comportamiento de las comunidades con respecto al manejo de los bosques y en el desarrollo y evaluación de políticas, es el componente social. Los elementos sociales permiten describir las características de la población y por otro lado medir los beneficios de una determinada simulación (CONAFOR, 2014; CONAFOR, 2017).

- A. Categorizar a los consumidores, en alguna de las siguientes formas:
 - a. Nivel de Pobreza
 - b. Deciles de ingresos o gastos.
 - c. Nivel educativo
 - d. Si pertenecen a una comunidad urbana o rural
- B. Tasas de natalidad
- C. Tasas de migración
- D. Nivel de seguridad o violencia
- E. Índice de Gini
- F. Programas sociales recibidos, ya sea identificado a nivel geográfico o las reglas de operación requeridas para participar.
- G. Índice de organización social, nivel de gobernanza o un elemento que permita clasificar el tipo de comunidad que es.
- H. Elementos sobre tenencia de la tierra y tipo de propiedad.
- I. Identificador de comunidades indígenas y no indígenas.

Criterios ambientales

En este caso se refiere a condiciones medio ambientales que deberían ser modeladas para reflejar las condiciones del sector forestal en México y capturar las interacciones que presentan con otros sectores, o con las variables económicas y sociales (CONAFOR, 2014; CONAFOR, 2017).

- A. Tipos de Usos de Suelo, se puede considerar como básico las seis categorías del IPCC (Tierras Forestales, Praderas, Humedales, Tierras Agrícolas, Asentamientos y Otras Tierras).

- B. Tipos de vegetación. Se debe tomar en cuenta que los diferentes tipos de bosque tienen diferente potencial de aprovechamiento forestal y por tanto diferente aproximación dentro del mercado.
- C. Afectaciones naturales: incendios y huracanes.
- D. Tasas de cambio de uso de suelo, índice de deforestación o tasa de deforestación anual. Un mejor insumo es poder identificar las tasas de recambio para cada una de las transiciones de uso de suelo.
- E. Regionalización para producción agropecuaria, las diferentes regiones del país tienen diferentes presiones económicas.
- F. Productos forestales maderables, identificación de principales productos.

2.2 Descripción de los modelos seleccionados

En la sección dos se presentó la descripción teórica de las tres aproximaciones metodológicas, en esta sección se discutirán las ventajas y desventajas de la aplicación de cada uno de estos enfoques para el contexto mexicano. A partir de esos primeros argumentos se presentarán las similitudes de los diferentes modelos que se analizaron.

2.2.1 Modelos agregados

En un inicio se seleccionaron ocho modelos, de los cuales cinco fueron los que mejor información brindaban para la tabla descriptiva y con los que se realizó el análisis comparativo. Estos modelos además de tener mayor información documentada en las fuentes consultadas, se seleccionaron por tener información más detallada de la estructura del modelo y por reflejar algunas de las condiciones buscadas en el desarrollo de este estudio: interrelaciones del sector forestal, modelación económica de emisiones de USCUS, explicar la dinámica del sector forestal. En el Anexo I.A se presenta la Matriz de caracterización de los modelos agregados.

Modelo MEDEC

El primer modelo analizado fue el MEDEC basado en Boyd-Ibarrarán, que es presentado en un estudio de país del Banco Mundial y que estudia a partir de un modelo agregado las mejores políticas y acciones de mitigación en México. Utiliza un sistema de costos netos sectoriales que incluye también externalidades para el sector forestal. Modela sistemas de costos del sector que permiten tener una aproximación a la dinámica del sector. La principal ventaja que tiene es que está aplicado a México, incluye el sector forestal y cuenta con una calibración del país. El problema para aplicar este estudio es que el objetivo de este modelo es identificar medidas de mitigación viables bajo ciertos criterios (Jonson, Alatorre, Romo, & Liu, 2012) y en este caso interesa conocer cuáles son las variables económicas que mueven las emisiones de GEI del sector USCUS.

Global Forest Model

El segundo modelo que se revisó fue el *Global Forest Model* (G4M) desarrollado por IIASA, es un modelo que compara los ingresos derivados de acciones forestales con aquellos ingresos por otros usos alternativos de ese terreno. Resulta interesante y útil porque es otra forma de considerar los costos de oportunidad, como la posible renta futura que puede tenerse en una superficie forestal. Se analizan las dinámicas de las emisiones de gases de efecto invernadero, pero como una consecuencia del secuestro de carbono. En este modelo no se analizan variables económicas como variables que determinan el cambio de las emisiones, sin embargo, presenta una adecuada caracterización del sector forestal (IIASA, 2017).

Modelo GLOBIOM

GLOBIOM, también desarrollado por IIASA, se basa en una aproximación que incluye la producción de alimentos, la fibra forestal y la bioenergía en su conjunto, es regularmente utilizado como una herramienta para toma de decisiones. Este modelo tiene un enfoque de interacciones recursivas y se basa en datos espacialmente explícitos, lo que es una gran ventaja para poder hacer la modelación del sector USCUS, además analiza la interacción

vía precios de 18 tipos de cultivos, cuatro de los cuales son relevantes para el país. Como nicho de oportunidad está una integración más completa hacia el componente social, ya que son una parte fundamental del sector forestal del país (IIASA, 2017).

Curvas de Kuznets

El cuarto modelo agregado que se revisó fue elaborado por la Universidad de Tennessee, Knoxville, donde a partir de usar las Curvas de Kuznets explica la relación entre la población y el medio ambiente. En este modelo se utilizan diferentes variables dependientes para explicar las emisiones de GEI y las emisiones particulares de cada gas. Es una aproximación interesante, aunque se requiere una serie temporal extensa que no se cuenta para todos los datos, en caso de que se deseara utilizar y explicar para México. Un aspecto importante es que este no es un modelo para las emisiones del sector, sin embargo, aplicar un análisis similar podría brindar información específica de las variables que influyen en las emisiones sectoriales (Watcharaanantapong, 2016).

Modelo WITCH

El quinto modelo incluido como agregado es el modelo WITCH (*World Induced Technical Change Hybrid Model*), que es un modelo regional de evaluación integrada estructurada que proporciona información para el desarrollo de normativas óptimas económicas para el tema de cambio climático y daño climático. El modelo permite una caracterización de la demanda futura de energía al identificar los elementos que se requieren para estabilizar las concentraciones de GEI. También considera precios de los combustibles (petróleo, carbón, gas natural, uranio), así como el costo de almacenar el CO₂ capturado. El modelo puede utilizarse para evaluar la implicación de las políticas de mitigación en el sistema de energía en todos sus componentes (Tavoni & Bosetti, 2007).

A partir de conceptualizar los modelos agregados y revisar sus aplicaciones, no se considera recomendable utilizar este tipo de modelos para responder la pregunta de investigación de este estudio, dado que este tipo de modelos no permiten reflejar las

interacciones internas del sector USCUS en sus diferentes componentes: social, económico y ambiental.

2.2.2 Modelos desagregados

El segundo grupo de modelos a analizar son los modelos desagregados, que logran modelar a detalle una situación específica o un sector en particular, hacer una modelación específica del sector USCUS y abordan la problemática de las comunidades rurales sobre la deforestación o la producción sectorial.

El análisis a menor escala permite revisar situaciones puntuales, aunque se pierde la importante relación sectorial y elementos de la situación nacional. Utilizar un enfoque de este estilo para modelar nacionalmente es complicado, ya que hay gran variabilidad en la situación económica y social en el territorio nacional.

Capturar las características del sector USCUS es fundamental para modelar las emisiones del GEI del sector, ya que los impulsores de cambio de la deforestación se pueden modelar de forma más apropiada a una escala micro. Con este enfoque, podrían analizarse los precios locales de la madera con base en la tecnificación del sector y su influencia en el mercado nacional.

Otro aspecto que se puede explorar son los problemas de escasez y asignación de recursos, mediante el análisis de su eficiencia económica. Esta última implica alcanzar el óptimo de Pareto enfocado en la producción, distribución y consumo de los productos de forma eficiente, lo cual resulta en una problemática presente en la balanza comercial del sector maderable en el país (Elizondo, 2017). Este modelo permite entender cómo se relaciona la empresa privada (forestal) con la economía local a través de un libre mercado. Se puede estudiar el bienestar de los consumidores a detalle con diferentes condiciones.

Existen supuestos relevantes que afectan estos modelos, el más importante es que no considera el resto de la economía, lo que no permite capturar al sector forestal como un sistema integrado. Este elemento es fundamental, además se conocen las variables económicas y sociales que intervienen en su dinámica.

Para los modelos desagregados se trabajó con cinco modelos, la primera característica positiva que todos comparten es su capacidad de desarrollar exhaustivamente una parte del sector forestal. La mayoría de ellos (*OSIRIS*, *Forestry model* y *GTM*), lo analizan desde un aspecto comercial, al evaluar y explicar las interrelaciones a nivel de producción y de precios. Esto es un aspecto no menor, pero poco significativo para el contexto mexicano, dado que el PIB de productos forestales es inferior al 5 por ciento. A continuación, se detallarán brevemente las características de los modelos⁴.

Modelo OSIRIS

Este modelo es reconocido y utilizado para modelar los pagos de REDD+, tiene un enfoque en el que se pueden medir las reducciones de emisiones agregadas y como se vinculan con los costos de oportunidad del sector, sin embargo, no modela cambios, si no choques en la economía que entran como variables exógenas. Este modelo nos puede brindar elementos necesarios para la modelación de actividades REDD+, mas no necesariamente del comportamiento del sector (Conservación Internacional, et al, 2017).

El Forestry model

El *Forestry model* se especializa en analizar el potencial mundial de secuestro de carbono a partir de entender sus usos finales, y analizar el mercado productor de madera. Estudia específicamente el valor actual neto del bienestar al tomar en cuenta la producción y el ajuste de precios. Una de las principales limitantes para su aplicación en México es la falta de información del sector productivo y los niveles de tecnificación. En México además

⁴ En el Anexo I.B se puede observar a detalle la matriz comparativa.

existe un mercado de madera no regulado que presenta dificultades para modelar un esquema de este tipo. Hay esfuerzos por documentar esta información por parte de la CONAFOR. Este modelo permite entender una dinámica del sector, sin embargo, no responde la pregunta de investigación que se pretende desarrollar (EPA, 2017).

Matriz de comportamiento

La Matriz de Comportamiento considera el elemento social como un eje clave. En este caso se analizan los diferentes tipos de poseedores forestales y como estos se comportan hacia las opciones de programas de manejo forestal. A partir de una serie de cuestionarios y análisis, se tipifica cuál es el programa que eligen y cuál es el impacto que tiene. Este modelo no permite responder la pregunta de investigación, sin embargo, da elementos para que en un futuro cuando se evalúen las CND aplicadas en el país se pueda considerar una aproximación de este tipo. El acierto de este modelo es reconocer la importancia de las características sociales y la forma en que estas pueden o no influir en los sistemas productivos de una región forestal (Turbins, Jonsson, Wallin, & Sallnas, 2017).

Índice de la Deforestación

El cuarto modelo analizado fue el Índice de la Deforestación elaborado para México por Carlos Muñoz Piña. A partir de modelos probit se evalúan las diferentes características que afectan a la deforestación. Se hace un análisis de píxeles para las regiones más propensas a tener problemas ambientales, se incluyen variables económicas y sociales.

Este índice refleja la problemática nacional específica, primero mediante la identificación de zonas con o sin deforestación, posteriormente se analiza la degradación como un paso antes de la deforestación (y qué la ocasiona) y por último la tasa natural de crecimiento del bosque. Este índice brinda elementos para alimentar un modelo integral (Muñoz Piña, Alarcon, Fernandez, & Jaramillo, 2017).

Estos modelos permiten una aproximación a la realidad nacional, no obstante, ninguno de ellos por si solo responden la pregunta de investigación, sin embargo, brindan elementos que se pueden y deberían incluir en el modelo. En específico el Índice de la deforestación (Muñoz Piña, Alarcon, Fernandez, & Jaramillo, 2017) es un insumo que se debería analizar.

2.2.3 Modelos Integrados

Los modelos integrados contienen elementos tanto agregados como desagregados, sin embargo, no capturan el detalle completo de los modelos anteriores. La ventaja de utilizar un modelo de equilibrio general es capturar la interrelación sectorial (agrícola, pecuaria, forestal) y a la vez observar los ajustes en la balanza comercial internacional. Además de evaluar esas interrelaciones también se refleja el comportamiento y beneficios de los hogares, con un enfoque de variación compensada y equivalente.

Uno de los retos con estos modelos es incluir la estimación de emisiones de GEI, ya que el producto final son datos económicos, por lo que habría que establecer un sistema de conversión entre el valor bruto de producción (VBP) hacia emisiones estimadas de GEI por rama económica. Para lo anterior existen diferentes estudios, el más reciente elaborado por Pablo Ruiz Nápoles publicado en el *Trimestre Económico*. En este estudio se estima un vector de coeficientes de emisión por rama por VBP, se desarrolló únicamente para las 79 ramas de la economía mexicana, pero es un primer valor de utilidad para desarrollar el modelo (Ruiz Nápoles, 2011).

La mayor ventaja que se puede tener en este tipo de modelos es la construcción modular, donde puede desarrollarse componentes específicos como pobreza, trabajo, producción, sector forestal y dar mayor complejidad al modelo. La desventaja de este modelo es el nivel de complejidad que adquiere y los supuestos que se emplean al desarrollar el equilibrio de una economía. Si bien cada corriente económica tiene una aproximación diferente para cada problemática, una documentación completa del modelo

no evita que existan críticas sobre el enfoque, pero permitirá al usuario justificar la decisión de la aproximación seleccionada.

Con respecto a los modelos integrados se seleccionaron seis, tres se han aplicado en México. Una de las principales ventajas de estos modelos es que integran características locales de la población, economía o ecología con un entorno nacional. El riesgo es el tamaño del sector forestal en el PIB y que en función de la construcción de la MCS será el nivel de detalle que se pueda tener en el modelo.

Modelo MEGC

El modelo MEGC fue desarrollado por el BID para hacer un análisis comparativo entre las economías de varios países por choques de mercado debidos a condiciones climáticas, este evalúa el sector forestal, salud, bienestar, plagas y cambios de precios debidos.

Las emisiones se estiman a partir del valor de producción y es posible desarrollar experimentos de política como impuestos ambientales. Uno de los grandes retos que presenta es la aplicación del método RAS para llevar toda la información al mismo año base (esto no es necesario para el desarrollo de un modelo nacional) (Chisari, Maquieyra, & Miller, 2012).

Integrated Global System Model

El segundo modelo es una integración de modelos específicos, por ejemplo, oceánicos, de flujos de carbono, de economía y sociales. Una de las ventajas de este modelo es que incluye el componente de la incertidumbre en sus diferentes áreas. A través de la incertidumbre se pueden hacer experimentos para reconocer los cambios proyectados, la evaluación de los costos y la eficacia ambiental de las propuestas para el riesgo climático. Otro aspecto relevante es que se modelan gases como el CO₂, CH₄, PFC, SF₆ y HFC. Una de las problemáticas que tiene este modelo es su enfoque al componente bio-geo-químico y no incluye las variables sociales tan a detalle. Este modelo es útil por la integración de las

emisiones de GEI, sin embargo, se requiere complementar con otro modelo para que sea útil (Sokolov, Schlosser, Dutkiewicz, & et., 2005).

Modelo MEGA

El MEGA es una aplicación de un modelo general computable a un experimento sobre un impuesto ambiental. En este tipo de modelos la construcción permite incluir el componente económico, tanto nacional como internacional, el componente social a partir de una categorización de deciles de la población y el componente ambiental al estimar las emisiones de GEI que se producen. Este componente es uno de los aspectos a revisar en el modelo ya que las emisiones se incluyen a partir de un factor de conversión que proviene de conocer las emisiones de CO₂ producidas por VBP. Este modelo cuenta con versiones estáticas y dinámicas y se puede elaborar y detallar por módulo (Araujo-Gutiérrez Z. M., 2016).

El Toolkit

Es un sistema de integración de modelos que evalúa las condiciones socio económicas que se encuentran presentes en la localidad de estudio y con base en ellas analiza las interacciones entre con las condiciones ecológicas y de producción forestal. Este es un modelo muy particular porque se aplica a una región con características culturales muy particulares, lo que hace que la caracterización social se vuelva relevante.

Las ecuaciones y sistemas de integración del modelo se desarrollan específicamente para el contexto de la localidad de estudio, no obstante, es un ejemplo de modelo de interacción y presenta una serie de lecciones aprendidas que se deben de retomar para la elaboración del modelo (Sturtevant, Fall, Kneeshaw, Papaik, & et , 2007)

Integrated forestry assesment

El quinto modelo descrito es el *Integrated forestry assesment* (IA), presenta tres opciones para integrar modelos económicos o sociales con modelos ambientales (enfocados o no a cambio climático). Uno de los aspectos más interesantes es como pueden variar las interpretaciones con base en la aproximación seleccionada.

Para el caso de la modelación económica de las emisiones de GEI del sector USCUS, se debe desarrollar un sistema que permita integrar el componente ambiental y social. Sin embargo, ninguno de los modelos que se han revisado incluye todos los elementos deseados, e integrar diferentes modelos sectoriales o temáticos es muy importante. Es importante no perder de vista que en dicha integración se pueden generar variables o relaciones espurias, por lo que deben analizarse las interacciones que ocurren cuando se acoplan diferentes modelos (Linder, Sohngen, & Joyce, 2002).

Modelo Boyd- Ibararán,

El último modelo seleccionado fue el Boyd-Ibararán, el cual evaluó los costos del programa Especial de Cambio Climático en México. Este modelo tiene la flexibilidad de ser aplicable a diferentes escenarios y problemáticas, durante la entrevista con la Dra. Ibararán se proporcionó información sobre un documento que detalla más el sector forestal⁵, y se comentó que una de las ventajas de este modelo es que funciona de forma modular por lo que se pueden detallar diferentes elementos: producción, desempleo, condiciones sociales, nivel de seguridad, etc. En este caso se utiliza el software MatLab para correr el modelo, sin embargo, al ser un sistema de ecuaciones este se puede desarrollar en un modelo diferente (Moreno Islas, 2010).

Dado que el sector forestal es un sector integral, debe tomarse en cuenta lo siguiente:

⁵ Por los tiempos este documento no fue incluido en el análisis, pero se incluirá para el segundo entregable si este modelo es seleccionado.

- A. Las externalidades tanto positivas como negativas juegan un papel muy importante.
- B. Los actores locales toman decisiones independientes (propietarios o poseedores de la tierra).
- C. Hay elementos externos (incendios, huracanes, inundaciones) que afectan la dinámica del sector y que no pueden ser controlados con las políticas públicas.
- D. Hay una relación muy estrecha entre el sector agropecuario y forestal.
- E. Hay localidades que viven específicamente del sector forestal, con productos de autoconsumo.

Con base en la información, se considera que un enfoque integrado es la mejor opción de modelación para las emisiones del sector USCUS, dado que estos enfoques nos permiten, por un lado, categorizar aspectos sociales, económicos y de producción, y por otro lado identificar las relaciones entre las variables que se analizan.

2.3 Análisis de aplicabilidad al contexto mexicano.

En el apartado anterior se presentaron las ventajas y desventajas de cada modelo basado en su enfoque de modelación. Sin embargo, aunque existan modelos con fuertes bases conceptuales, es importante analizar cuales se pueden aplicar al contexto mexicano a partir de la caracterización del sector.

2.3.1 Análisis cualitativo de características

A partir de los criterios que se identificaron en el apartado tres, se elaboró una matriz que nos permite observar cuáles modelos son los que tienen mayor representatividad para el contexto mexicano. Para ellos se asignó un punto si el modelo incluía esa variable; 0.5 si se incluye parcialmente o se puede incluir en el modelo; y 0 si no se incluye en el modelo.

Tabla 5. Modelos que se adaptan a los criterios establecidos

Tipo de criterio	Criterio	Boyd-M-Ibarrarán	MEGA	Regresiones múltiples y curva de Kuznets	Probit (índice de la deforestación)	The Global Forest Model	IA	GLOBIOM	WITCH	Integrated Global System Model
	Tipo de modelo (I=integrado, A= agregado, D= desagregado)	I	I	A	D	A	D	A	A	I
Económico	Precios de productos agrícolas nacionales	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Precios de productos forestales nacionales	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Precios de productos agrícolas internacionales	1	1	1	1	1	0	1	1	1
	Precios de productos forestales internacionales	1	0	1	1	1	0	1	1	1
	Precios de la canasta básica nacional	1	1	0	1	0	1	0	0	0
	Subsidios totales	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Subsidios sectoriales (agrícolas, ambientales, sociales)	1	1	0	0	0	1	0	0	0
	Costos de producción sectoriales	1	1	1	1	1	0	1	1	1
	Funciones de producción específicas por sector	1	1	1	1	1	0	1	1	1
	Costos de daños naturales (huracanes, incendios, etc.)	1	0	0	1	1	1	0	0	0.5
	Costos de oportunidad, o posibilidad de estimación	0	0	1	0	1	1	1	0	0.5
	Unidades de trabajo requeridas	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Tipo de trabajadores	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	Producto Interno Bruto sectorial	1	1	1	1	0	0	1	1	1
Importaciones y exportaciones sectoriales	1	1	1	0	0	0	1	1	1	
Sociales	Nivel de pobreza	1	1	0	0	0.5	1	0	0	0
	Categorizar los tipos de población por nivel de ingreso o gasto	0.5	1	0	0.5	0	1	0	0	0
	Categorizar población por urbana o rural	0.5	0.5	1	0	0	1	0	0	1
	Categorizar población por nivel educativo	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0
	Identifica tasas de natalidad	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Identifica tasas de migración (interna o externa), entendida como abandono del campo o zonas rurales.	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0	0
	Nivel de seguridad o violencia	0.5	0.5	0	0	0	0.5	0	0	0
	Programas sociales recibidos a nivel geográfico o por nivel de ingreso	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0
	Índice de organización social, o nivel de gobernanza	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0
	Tipo de tenencia de la tierra	0.5	0.5	0	0.5	0.5	1	0	0	0
Identificación si es una comunidad indígena o no	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0	
Ambientales	Tipos de Uso de suelo	1	0	1	1	1	1	1	1	1
	Tipos de vegetación	0	0	1	1	1	1	1	1	0
	Riesgos Naturales (incendios, Inundaciones)	0.5	0	0	1	1	0.5	0	0	1
	Tasas de Cambio de Uso de Suelo, índice de deforestación.	0	0	1	1	1	0.5	1	1	0
	Regionalización de producción agropecuaria, o presión a la que se enfrenta.	0	0	1	1	1	0.5	1	1	1

Tipo de criterio	Criterio	Boyd-M-Ibarrarán	MEGA	Regresiones múltiples y curva de Kuznets	Probit (índice de la deforestación)	The Global Forest Model	IA	GLOBIOM	WITCH	Integrated Global System Model
	Productos forestales maderables (ponderación de maderas preciosas, o productos de alto valor)	1	0.5	1	1	1	0.5	1	1	0
Total		19.5	17	17	16.5	15.5	15	14	13	13

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5 5, se presentan los nueve modelos que mayores criterios del contexto mexicano incluyen como parte de su modelación. Es importante identificar que los criterios menos representados son los sociales, por ejemplo, nivel educativo, tasa de natalidad, índice de organización social e índice de violencia. Estas no son variables que se incluyan en ningún modelo, sin embargo, sí son elementos que pueden mover el comportamiento y uso de los terrenos forestales por parte de las comunidades.

Los criterios económicos son los que mejor se pueden representar en los modelos. En general, para hacer un modelo económico del sector forestal hay suficientes elementos técnicos como conceptuales. Donde se tiene que tener mayor cuidado es en la integración y modelación del componente ambiental para contar con una versión integrada de lo que es el sector forestal. Por ejemplo, incluir las interacciones del sector forestal con otros sectores y los ciclos internos de este sector.

El componente ambiental es el más difícil de vincular de forma integral en los modelos económicos, ya que la forma de relacionar las variables no es lineal. Trabajar con un entorno vivo que responde a variables ecológicas (agua, aire, incendios, plagas) que están en continuo movimiento implica que se tengan que desarrollar aproximaciones, y que los modelos que mejor lo detallan solo abarcan esos sectores. Por lo que integrar pequeños

micro modelos a un modelo integrado podría brindar una mejor comprensión del sector en el entorno económico⁶.

2.4 Análisis de los modelos

Para esta segunda etapa se inició con una caracterización de los supuestos, variables económicas, sociales, y ambientales que se analizan en cada modelo con la finalidad de entender cuál es la capacidad de los modelos de responder al objetivo de este estudio.

Tabla 6. Caracterización de los modelos

Nombre del Modelo	BOYD-Ibarrarán	MEGA	<i>The Global Forest Model</i>	Probit
Pregunta de investigación de la aplicación de modelo	Utiliza un modelo de equilibrio general para analizar cuál es el impacto de las políticas establecidas en el PECC, al analizar los costos sectoriales para lograr las metas de reducción de emisiones establecidas.	Analiza el impacto de eliminar los subsidios a los energéticos (gas, gasolina, electricidad) y asignar impuestos ambientales, y examina cual es el efecto en a las emisiones de GEI que producen estos sectores.	El modelo G4M de IIASA analiza los beneficios económicos que se generan a partir de diferentes usos de los bosques, para presentar cuáles son los costos de una actividad sobre otra y las ventajas económicas de la población. Por ejemplo, para cultivar granos de alimentos o biocombustibles.	Se usa una aproximación de píxeles para explicar la deforestación en México entre 1993-2000, en bosques privados y públicos. Se usa un enfoque empírico para identificar las variables que tienen un impacto significativo en la deforestación.
Cómo se puede abordar la modelación económica del sector USCUS	Este modelo incluye el sector de una forma somera, como parte de los actores que tienen metas en el PECC. El modelo se basa en el supuesto de la producción forestal - aprovechamiento forestal- como una de las metas del PECC. No se hace una caracterización detallada del sector.	La base conceptual de este modelo permite que se caracterice el impacto de cualquier variable económica en el resto de los sectores y las interacciones que tiene internamente. Permite analizar el impacto del precio de un producto internacional en el modelo. Resulta útil para caracterizar económicamente las emisiones de GEI del sector forestal.	Hace un análisis de la parte forestal, al entender cuál es el mejor uso potencial del uso de suelo, si es un uso forestal o agropecuario. Lo interesante es entender que variables mueven la toma de decisiones de este tipo.	Es un modelo que específicamente modela las emisiones del sector USCUS, por medio de la identificación de las variables que más influyen en la deforestación, sin embargo, es un modelo que puede tener alta incertidumbre.

⁶ Para complementar el análisis de la selección del modelo se había planteado realizar un análisis de conglomerados para ver que modelos se parecían más al contexto mexicano, sin embargo, la información que se tenía, no era suficiente para realizar un análisis adecuado.

Nombre del Modelo	BOYD-Ibarrarán	MEGA	<i>The Global Forest Model</i>	Probit
Supuestos generales	El modelo calcula el valor del PIB, la producción por sector, el consumo por sector, la inversión, la acumulación de capital, los precios relativos y los ingresos del gobierno. Se incorporan ciertos supuestos sobre la producción de petróleo y gas natural y las perspectivas de crecimiento económico.	Estima los impactos en la variación compensada y equivalente en los consumidores en de las simulaciones que asignan impuestos o eliminan subsidios, así como las emisiones de GEI que se reducen o incrementan.	G4M estima la cantidad de ingresos netos actuales del cálculo de la cantidad y el valor de la madera producida menos los costos de cosecha. Estima los ingresos potenciales y evalúa la rentabilidad de los cultivos agrícolas o biocombustibles	Se crea una variable dependiente cualitativa a partir de la estimación de un modelo probit, probit ordenado y logit multinomial. Se usan señales de mercado para la deforestación, se estima la diferencia entre el valor actual de las rentas que se pueden generar por ganadería, agricultura o las rentas que el bosque proporcionaría por mantenerse como tal.
Características del modelo	Es un sistema de ecuaciones simultáneas. La premisa es que los sectores económicos están estrechamente vinculados, esto implica que restricciones en un mercado afectarán de manera directa su propio mercado vía precios y nivel de producción de manera indirecta afectará a otras industrias.	Muestra a través de ecuaciones simultáneas el funcionamiento de los mercados y su impacto macroeconómico. Se describe un equilibrio cero o situación actual y a partir de ahí se hacen simulaciones de política pública.	Las variables económicas se analizan a través de ecuaciones simultáneas donde hay un consumidor racional que toma la mejor decisión del uso de la tierra en función de las necesidades presentes y futuras. Es un proceso de maximización para llegar al óptimo de Pareto.	Los supuestos económicos están basados en la rentabilidad de realizar una u otra actividad del uso de la tierra.
Principal limitante interna del estudio	Estimación de las elasticidades específicas para cada uno de los sectores, caracterización de la tecnología necesaria para describirla en las ecuaciones.	Se basa en datos anteriores a la reforma energética, por lo que los resultados no reflejan la situación actual posterior a la reforma energética.	G4M es un modelo que requiere retroalimentación de otros modelos, lo que incrementa la incertidumbre al ser alimentado desde diferentes fuentes.	Se pueden tener correlaciones entre las variables no percibidas, y se reconoce que no son las únicas variables que afectan la deforestación.
Sectores productivos representados	Representa 11 sectores: agricultura, ganadería, forestal, pesca, minería, electricidad, químicos, refinación, transporte, servicios y manufactura	Representa 16 sectores de la economía mexicana: Extracción de petróleo y gas; generación transmisión y suministro de la energía eléctrica, suministro de gas por ductos; industria de las bebidas; fabricación de productos derivados del petróleo y gas; fabricación de equipo de generación y distribución de energía eléctrica; transporte por ferrocarril; autotransporte de carga; transporte colectivo urbano y suburbano; transporte de gas natural por ductos; servicios relacionados con el transporte por ferrocarril;	El modelo puede representar el costo de productos agrícolas con los cultivos principales de la localidad de estudio y de biocombustibles. Por el lado de la madera incluye el aprovechamiento forestal, la producción de maderables, no maderables y los costos de conservación y manejo.	Incluye diferentes grupos de variables, no se consideran como sectores: 1) físicas: altitud, pendiente, rentabilidad de producción de maíz; 2) de ubicación distancia a centros urbanos distancia a centros urbanos menores a 15 mil habitantes; 3) tenencia de la tierra, con programa social o sin programa social; 4) Tipos de bosque

Nombre del Modelo	BOYD-Ibarrarán	MEGA	<i>The Global Forest Model</i>	Probit
		servicios relacionados con el transporte de carretera, servicios de intermediación para el transporte de carga; alimentos (sector agregado); resto de la economía.		
Variables económicas incluidas	Se actualizan los parámetros del modelo entorno a la tasa de depreciación del capital, las elasticidades de sustitución entre insumo y elasticidad de precio de la demanda del sector energético.	Valor agregado, valor agregado con impuestos, bienes domésticos, exportaciones, importaciones, bienes compuestos, factores (trabajo y capital), gobierno (impuestos indirectos, subsidios, ingresos del gobierno), ahorro e inversión y resto del mundo.	Oferta y demanda de los productos forestales, productos agrícolas, biocombustibles. Los precios presentes y las tendencias futuras son considerados dentro del esquema de modelación, estos insumos provienen regularmente del uso de otros modelos que se integran.	Se consideran los precios de los productos agrícolas, infraestructura, y la rentabilidad de la producción de maderables y agrícolas.
Adecuaciones posibles para incluir aspectos económicos	Detallar más el sector forestal, una mejor aproximación es desagregar el sector forestal en sus diferentes elementos que lo componen, una mejor caracterización del sector forestal puede darnos más información de cómo se comportan las emisiones y como se mueve con respecto a otros sectores.	Se puede seleccionar el número y los sectores deseados, se puede desagregar el resto del mundo a los países que más nos interesen.	Se pueden seleccionar las variables deseadas para incluir en el modelo, lo que le da un alto potencial. Sin embargo, el requerir alimentarse de otro modelo reduce su nivel de certidumbre y aplicabilidad.	Se pueden incluir variables sobre la producción forestal, caracterizar también la parte de aprovechamientos forestales.
Consumidores representados	El modelo cuenta con 4 grupos de consumo o agentes, determinados por el nivel de ingreso.	Se representan 10 tipos de consumidores caracterizados por su ingreso en deciles poblacionales con base en la metodología de CONEVAL, se representa su gasto y su ingreso.	Se considera únicamente un consumidor tipo que hace elecciones racionales sobre el mejor uso de suelo.	Se representan diferentes tipos de poseedores forestales, no se representan consumidores.
Ajustes que se pueden realizar al componente social	Separar entre Rural y Urbano, las demandas de productos son diferentes, por lo que el impacto de las políticas planteadas tampoco será el mismo.	Se pueden catalogar los consumidores como mejor representen a la población. Una forma es a través de hogares rurales y urbanos.	Representar las diferentes categorías de tenencia de la tierra en el modelo, como agentes que toman decisiones basados en su situación actual.	Se pueden caracterizar más ampliamente a las poblaciones, de tal forma que se refleje la realidad socioeconómica que tienen.

Nombre del Modelo	BOYD-Ibarrarán	MEGA	<i>The Global Forest Model</i>	Probit
Variables ambientales representadas	Únicamente las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (el sector forestal está caracterizado desde el punto de vista productivo.	Únicamente las emisiones de GEI	Cambios en la temperatura, la precipitación, la radiación o las concentraciones de CO ₂ .	Se distinguen 15 categorías de bosques que se agrupan en dos tipos de bosques tropicales: (1) selvas tropicales y (2) bosques tropicales secos; y tres tipos de bosques templados (3) coníferos, (4) pinos / robles y bosques nubosos, y (5) bosques de roble y bosques templados secos.
Estimación de emisiones de GEI	Las emisiones de GEI se estiman a través de un índice que vincula la producción con las emisiones de GEI, no considera el cambio tecnológico.	Las emisiones de GEI se estiman a partir de multiplicar un factor de emisión por el dato de actividad (millón bruto de producción). No se consideran cambios tecnológicos que hagan que varíen las emisiones de GEI.	No se estiman directamente las emisiones de GEI, sin embargo, a través de estimar los usos de suelo finales se calculan las emisiones de GEI.	No se estiman emisiones de GEI.
Ajustes que se pueden hacer para las emisiones de GEI	Homologar las emisiones que el modelo genera con las reportadas por el INEGI.	Se pueden utilizar factores de emisión generales por rama económica, y buscar datos específicos para las clases económicas.	La aproximación que se utiliza es correcta, y se puede vincular con los datos nacionales de BUR y del INEGI	Por medio de la tasa de deforestación, los tipos de vegetación y factores de emisión (a partir de ecuaciones alométricas) se podrían estimar emisiones de GEI
Exportaciones e Importaciones	El comercio internacional se modela por medio de un agente extranjero. El nivel de importaciones puede cambiar debido a alteraciones en los precios relativos. Las exportaciones son exógenas con un crecimiento constante, estas responden también a cambios en los precios y pueden modificarse por cambios en los costos de producción de los distintos sectores productivos. Los pagos de transferencias externas se determinan dentro del modelo lo que hace que el modelo se cierre.	La oferta de importaciones se considera perfectamente inelástica, al asumir que la economía no altera los precios internacionales y puede comprar todos los bienes importados que se ofrezcan. Se asume que las demandas del resto del mundo por los productos nacionales dependen del bien relativo a algún nivel del precio mundial.	Las exportaciones e importaciones son un elemento fundamental en el modelo, ya que a partir de cómo se muevan las variables es el impacto en el cambio de uso de suelo de forestal a otros usos.	No se consideran
Ajustes que se pueden hacer a las exportaciones	La forma en que están modeladas las exportaciones permite capturar los cambios internacionales, se deben de separar las	Se pueden hacer ajustes específicos a las elasticidades de importaciones y exportaciones de un producto que nos	Se puede caracterizar más las importaciones y exportaciones, a sub sectores más específicos.	Incluir las como un impulsor del cambio de uso de suelo

Nombre del Modelo	BOYD-Ibarrarán	MEGA	<i>The Global Forest Model</i>	Probit
	exportaciones por sector para identificar mejor los cambios existentes.	permite reflejar mejor la realidad del sector, en este caso importa la importación y exportación de madera -a mercados como Chile-.		

Para realizar una selección sustentada del modelo, se aplicó un árbol de decisión que tiene por objetivo priorizar los elementos técnicos buscados. Se establecieron seis niveles en el árbol de decisión, de los supuestos más generales a los más específicos, de tal forma que se discriminaran modelos en cada uno de los niveles del árbol para finalmente seleccionar aquel que se adaptara en mayor medida a las necesidades del estudio.

2.4.1 Árbol de decisión

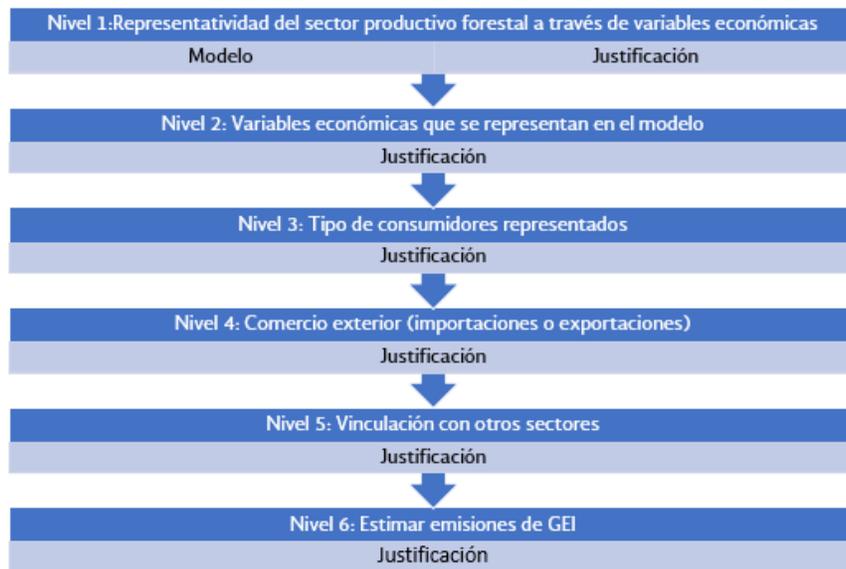
El árbol de decisión está construido para descartar modelos a través de filtros por medio de niveles. En cada uno de los niveles documenta la razón de que un modelo cumpla o no con las condiciones necesarias para pasar al siguiente nivel.

- ❖ Nivel 1: El modelo debe de tener la capacidad de explicar los sectores productivos forestales a través de variables económicas.
- ❖ Nivel 2: El modelo debe incluir variables económicas como oferta y demanda de productos maderables y no maderables.
- ❖ Nivel 3: El modelo debe de permitir hacer una categorización de los consumidores, por nivel de ingresos o ubicación.
- ❖ Nivel 4: El modelo debe considerar el comercio exterior de los productos maderables y no maderables, así como el efecto de los precios internacionales y nacionales de estos.
- ❖ Nivel 5: El modelo debe permitir vincularse con otros sectores productivos como el agrícola, minero o ganadero.
- ❖ Nivel 6: El modelo debe permitir la estimación de emisiones por un método directo o indirecto.

El árbol se aplicó a los cuatro modelos seleccionados, bajo el criterio que si un modelo cumplía con todas las características llegaba al nivel seis, de lo contrario aparece hasta el nivel que llegó. La

muestra los 6 niveles del árbol.

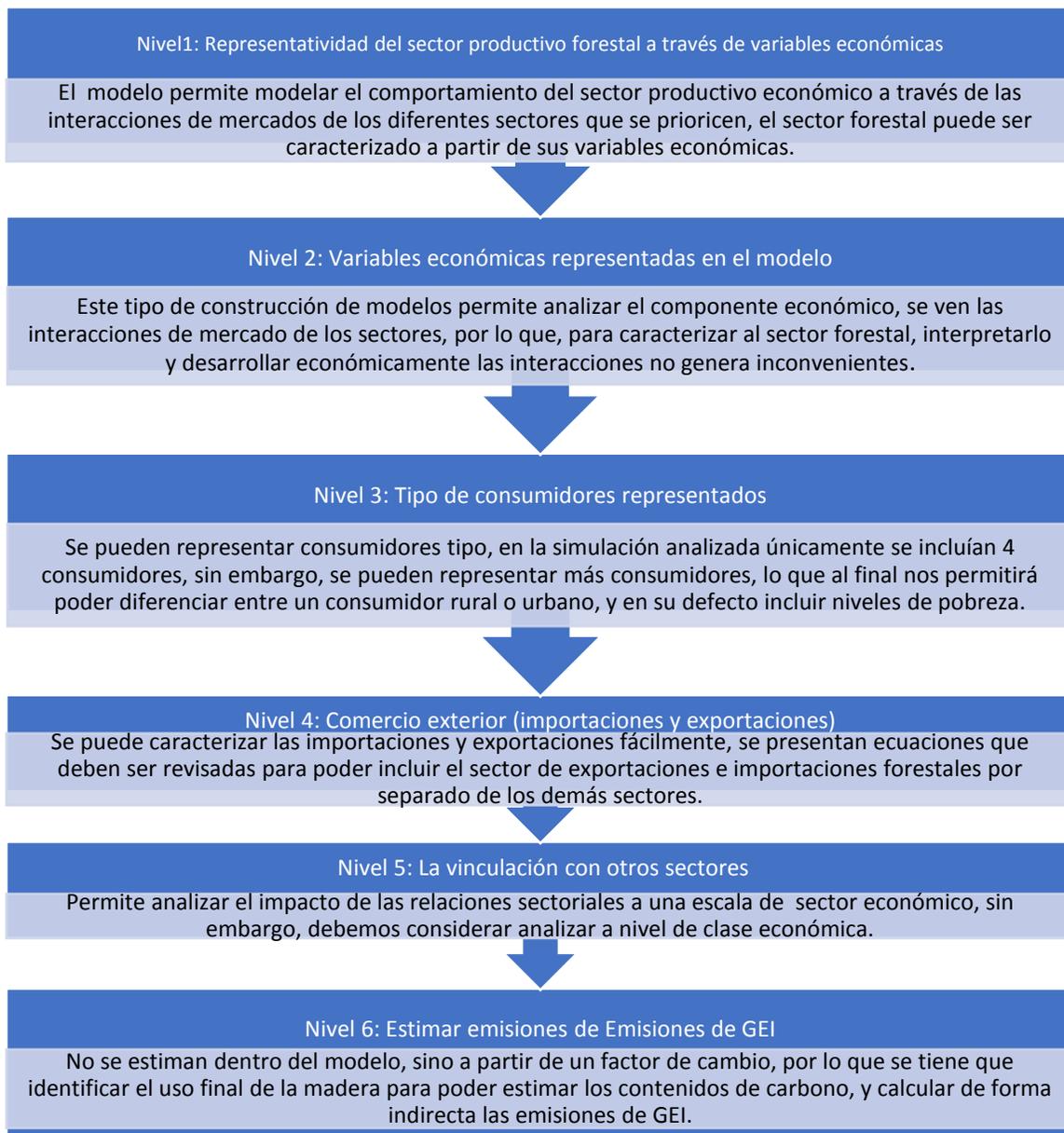
Figura 3. Árbol de decisión para seleccionar modelo



Modelo Boyd –Ibarrarán

Al aplicar el árbol de decisión a este modelo se puede observar que cumple con las características deseadas para poder modelar y caracterizar el sector USCUS. El principal reto que presupone este modelo es la necesidad de encontrar elasticidades de sustitución específicas que permitan una adecuada caracterización del modelo. Al considerar dicha limitante, el modelo analiza las interacciones internas del sector y entre sectores, lo que es una ventaja al entender al sector forestal dentro de un todo, en la economía mexicana.

Figura 4. Árbol Modelo Boyd-Ibarrarán

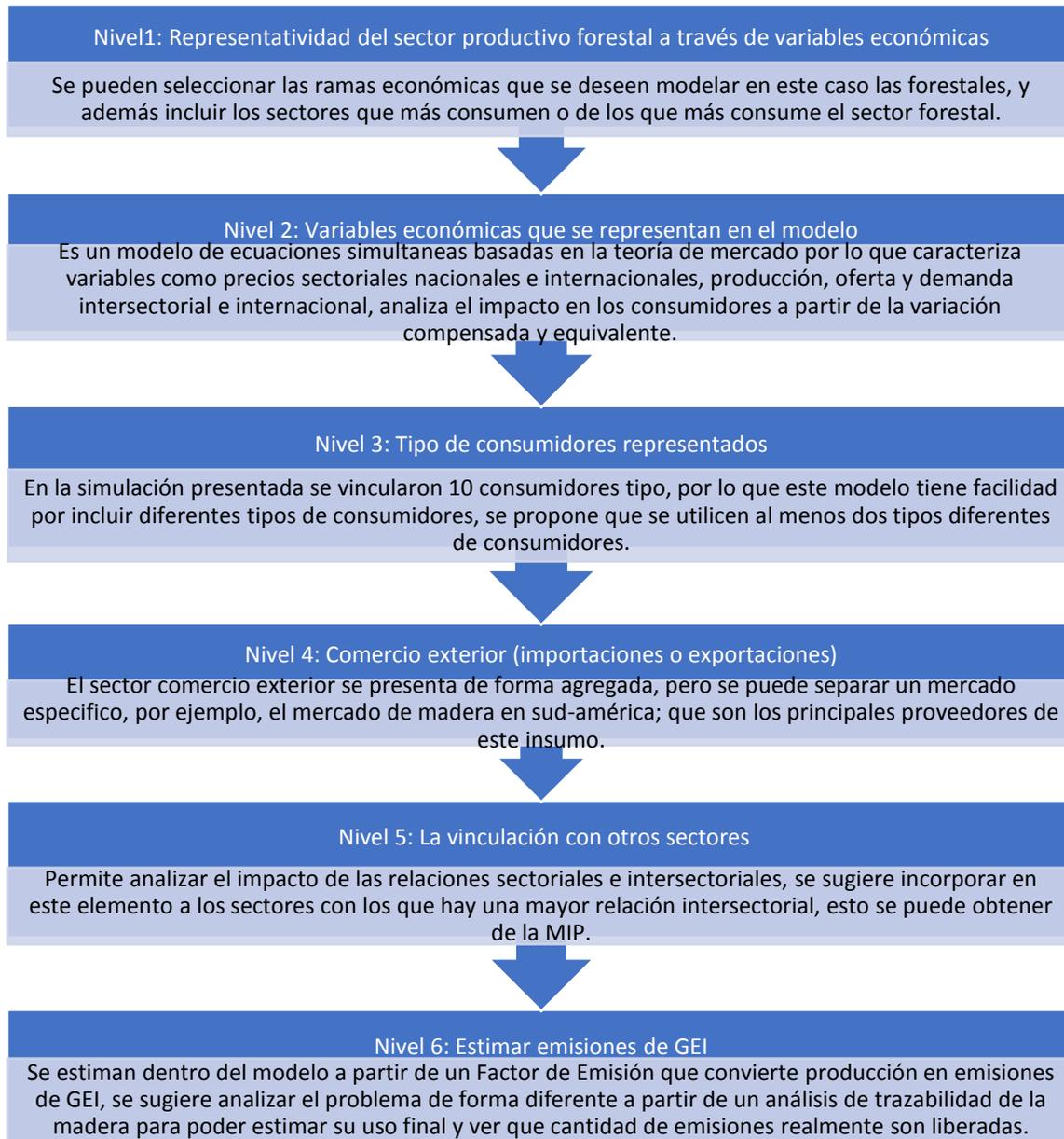


MEGA

El segundo modelo que se analizó fue el MEGA, que al igual que el Modelo Boyd-Ibarrarán cumple con los seis niveles, se puede considerar como un modelo completo e integral ya

que representa la parte económica, social y de emisiones de GEI, la principal diferencia que tienen estos modelos es que en éste se integra el componente de emisiones de GEI dentro del modelo de equilibrio general por lo que se obtienen de forma automática, el inconveniente es que es un indicador indirecto de las emisiones de GEI. La ventaja que presenta este modelo es que el componente “resto del mundo” refleja las importaciones y exportaciones.

Figura 5. Árbol modelo MEGA

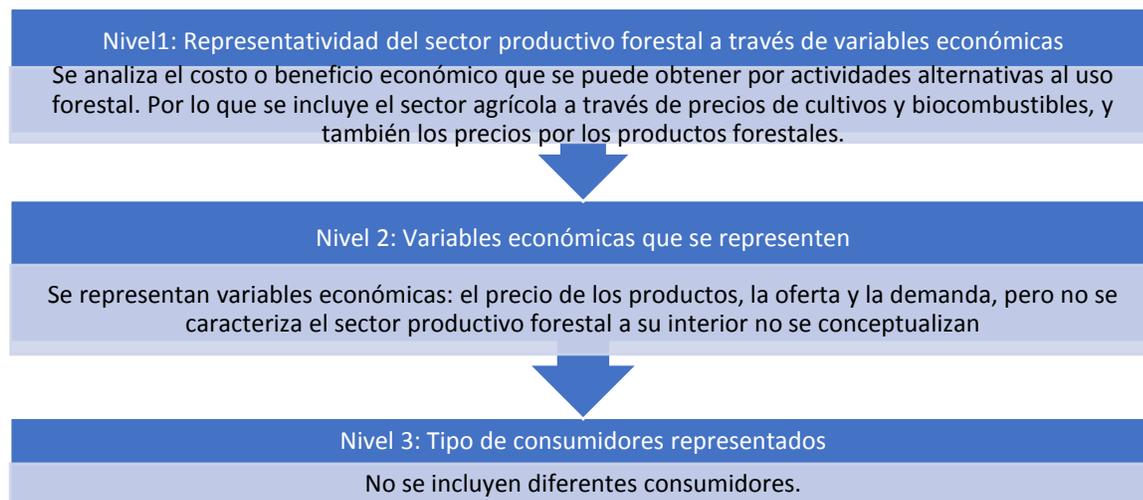


The global Forest Model

Es un modelo específico que no nos permite identificar todos los componentes que resultan relevantes para el sector productivo forestal en México, si bien hace una modelación del comportamiento de uso de suelo, lo explica a partir de variables puntuales, que no permiten

observar la integración con otros sectores, y esto puede provocar que no se explique o se malinterprete la causalidad de las variables. En particular este modelo aporta información a la toma de decisiones para un cambio de uso, pero no permite un análisis hacia el futuro sobre lo que pasará con las emisiones. Por tanto, este modelo queda descartado para responder a la pregunta de investigación de este estudio.

Figura 6. Árbol G4M



Probit, índice de la deforestación

Este enfoque de modelación permite conocer los impulsores de la deforestación en un periodo de tiempo pasado, en un principio ayuda como insumo para entender qué ha sucedido, pero no permite entender los cambios futuros. Es un modelo que vincula las variables económicas como causas de la deforestación y no se observan las interacciones o consecuencias económicas de ese cambio de uso, por lo que no se recomienda utilizar este modelo para responder la pregunta de investigación.

Figura 7. Árbol modelo PROBIT



2.4.2 Selección del enfoque metodológico

La selección del modelo se debe basar en aquel que responda de la mejor forma la pregunta de investigación. A partir de los resultados de aplicar los árboles de decisión y de la caracterización del sector forestal se observa que un modelo de equilibrio general es la mejor opción ya que permite capturar la parte de la producción, el consumo, y el sector internacional, además; 1) tipificar diferentes tipos de consumidores, 2) representar las relaciones intersectoriales, 3) analizar en conjunto la producción nacional e internacional, 4) reconocer el efecto de una determinada política económica en los diferentes componentes de la economía.

Adicionalmente, (López, 2012) comenta, en su revisión de la literatura sobre los modelos para la deforestación, que los modelos de equilibrio general presentan ciertas ventajas como: 1) Modelar el componente forestal maderable y no maderable; 2) Incluyen las interrelaciones con otros sectores, no solo el agrícola; 3) Se puede analizar el impacto de los precios tanto nacionales como internacionales; 4) Tiene una composición modular que permite que se profundice en los elementos específicos que se requiera; 5) incorporan la posibilidad de observar la forma en que una causa remota afecta un conjunto específico de parámetros de decisión (por ejemplo, precios) en lugar de simplemente analizar cómo los parámetros de decisión afectan a los agentes (como se hace en los modelos micro).

No obstante, este tipo de modelos presentan algunas limitantes. Por un lado, la calibración del modelo con elasticidades en precios e ingresos para las diferentes ramas sectoriales en específico del sector forestal. Por otro lado, el problema específico de la representatividad del sector forestal, la cual es menor al 5% del PIB nacional. No obstante, este tipo de enfoques reducen los supuestos sobre las relaciones de la parte económica con las emisiones de GEI.

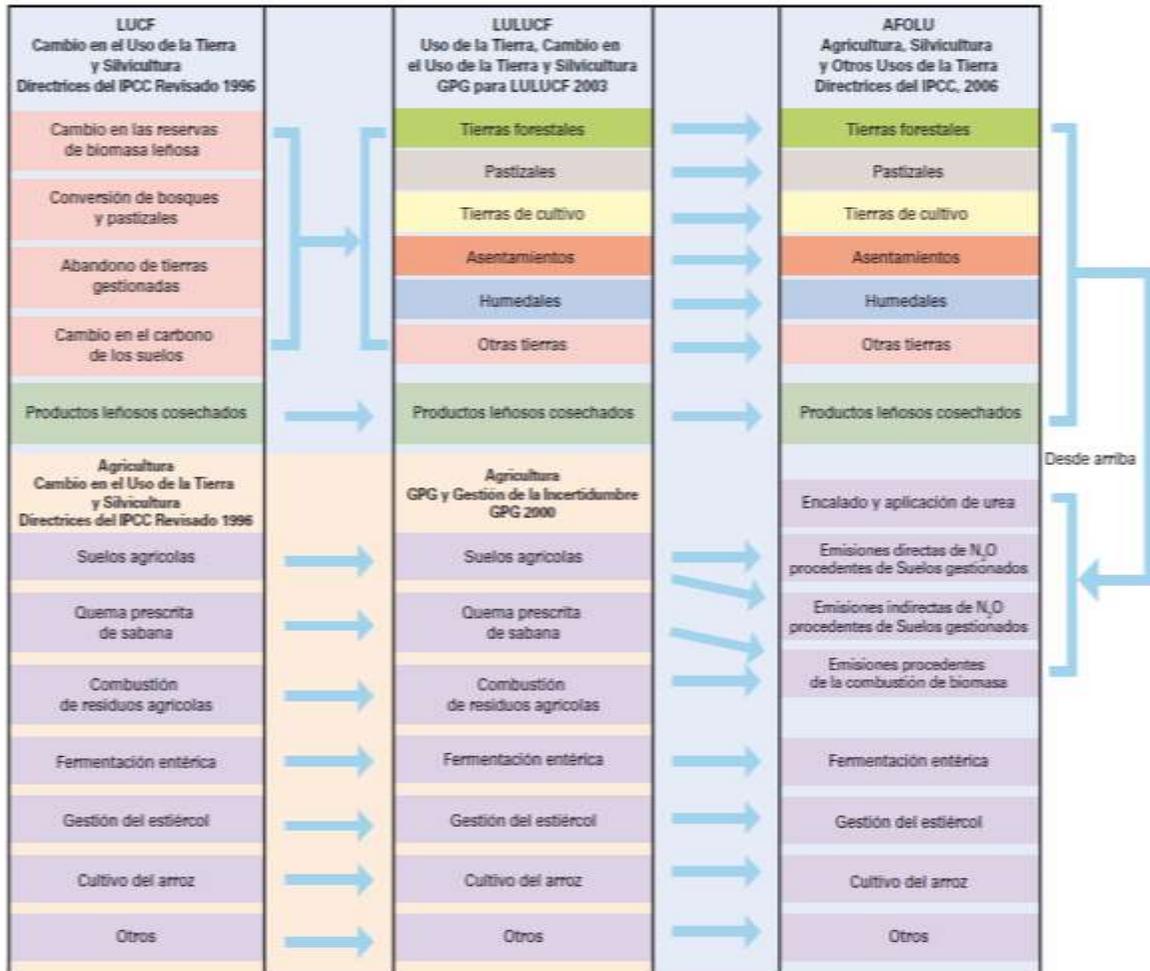
Un elemento que es fundamental resaltar y que desde la revisión bibliográfica se ha documentado, es la importancia de integrar el sector forestal en un entorno que contemple el sector agropecuario; ya que son sectores que compiten por el mismo recurso limitado, suelo. Ambas actividades utilizan el uso de suelo para desarrollarse, y si el uso de suelo cambia para una actividad se reduce para el otro uso.

El IPCC desde sus Directrices 2006 ha planteado esta integración al unirse el sector Agropecuario con USCUS, se reconoce que en cualquier tipo de tierra pueden producirse los procesos que provocan emisiones y absorciones de GEI, así como los efectos de los cambios de uso de suelo en las diferentes formas de carbono almacenado (IPCC, 2006).

El enfoque integrado de AFOLU tiene en cuenta todas las actividades naturales y antropogénicas que generan emisiones de GEI en el uso del suelo y descarta el enfoque por actividades donde no se consideraban los usos del suelo, lo que generaba que hubiera sobre estimaciones o sub estimaciones de las emisiones.

AFOLU pretende mejorar la consistencia y exhaustividad en la estimación de las emisiones y absorciones de GEI. Su integración remueve inconstancias y doble contabilidad.

Figura 8. Integración de AFOLU



Fuente: (IPCC, 2006).

En la Estrategia Nacional REDD+ (ENAREDD+), se reconoce también la importancia de entender al sector de forma integrada, ya que las actividades que ocurren en un uso de suelo tienen de forma inequívoca una relación con los otros dos sectores. Para maximizar los resultados que el país espera de REDD+, las políticas están encaminadas a abordar el entorno con una visión de paisaje, lo que implica conocer y reconocer las interacciones intersectoriales que ocurren en un territorio tanto a nivel social, económico y ambiental (Fernández & Larios, 2017)

Con base en lo anterior, se recomienda desarrollar un modelo de equilibrio general donde: 1) los **sectores productivos** se desagreguen a nivel de clase económica para la parte forestal, agrícola y para los sectores que tienen mayores interacciones con ellos; 2) **los consumidores** se sugiere representarlos como población rural o urbana, y validar si la división en tres regiones geográficas (norte, centro y sur) es pertinente; 3) **las importaciones** de madera de países como Chile, y **las exportaciones**; 4) **los subsidios** que se entregan al sector forestal y agrícola. El modelo que cumple con estas y las características solicitadas por el INECC son el Modelo Boyd-Ibarrarán y el MEGA (Araujo-Gutiérrez Z. M., 2016), por la viabilidad de poder desarrollar documentalmente el modelo y la facilidad para acceder a los supuestos y herramientas de programación requeridas se plantea utilizar el MEGA, y se requerirá establecer nuevos sectores y consumidores, sin embargo, la base conceptual es funcional para la elaboración del modelo solicitado por el INECC.

3. Desarrollo de enfoque metodológico

Como se ha documentado, el sector USCUS es dinámico con alta interacción con el componente agrícola y pecuario, dado que ambos ocurren en una superficie terrestre donde los cambios en uno de ellos influyen en el comportamiento del otro sector. Este enfoque que vincula ambos sectores no corresponde a una aproximación económica únicamente, las Directrices del IPCC 2006 presentan una metodología integrada, que permite que los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero reporten el sector Agropecuario, Silvicultura y otros Usos del Suelo (AFOLU, por sus siglas en inglés) como un único sector.

Con base en esos elementos, se desarrolló un modelo de equilibrio general estático que represente el total de la economía mexicana través de 13 sectores representativos con mayor desagregación para el sector AFOLU; cuenta con dos consumidores representativos para la población urbana y rural. Y se sentaran las bases conceptuales para desarrollar un modelo de equilibrio general dinámico.

Para el modelo se desarrollará el equilibrio base y a partir de ahí se realizarán dos tipos de simulaciones 1) Ajustes de política y 2) Escenarios CND. Considerar estos dos enfoques de simulaciones nos permitirá abarcar problemáticas diferentes en los esquemas de modelación, que permitirán ejemplificar los alcances de este tipo de modelos para replicar escenarios diferentes.

Por el contrario, los modelos dinámicos de equilibrio general computable trazan explícitamente cada variable a través del tiempo. Que un modelo sea dinámico obedece al hecho de que todas las decisiones de los agentes económicos afectan al conjunto de decisión futuro, o, dicho de otro modo, las decisiones que se toman en el conjunto factible de hoy afectan al conjunto factible de mañana, lo que permite que estos modelos sean más realistas, pero más difíciles de construir y resolver. Los elementos dinámicos pueden surgir de los procesos de ajuste parciales o de las relaciones de acumulación de la acción o flujo:

entre el stock de capital y la inversión, entre la deuda externa y el déficit comercial (Torres , 2011).

Los Modelos dinámicos son aquellos que pueden ser resueltos de forma secuencial en un periodo de tiempo determinado (un periodo a la vez). Ellos asumen que el comportamiento depende sólo de los estados actuales y pasados de la economía (Dixon & Rimmer, 2006; Hertel, 1997).

Las soluciones estables de los modelos dinámicos son a menudo cercanas en comparación con los modelos estáticos, y el contar con ambos modelos funciona como un sistema de validación; por esta razón, se parte del desarrollo de un modelo estático y a partir de ahí se genera el modelo dinámico.

3.1 Alcance del enfoque metodológico

Para poder modelar las emisiones de GEI a través de variables económicas, se requiere entender que forman parte de un entorno que integra los componentes social, económico y ambiental, y que un cambio en cualquiera de los tres tendrá un impacto en las emisiones de GEI del sector USCUS.

Si bien el impacto de las emisiones de GEI del sector USCUS en la economía nacional es del 12% ((INECC, SEMARNAT, 2015), la mayor parte de las emisiones son debidas a los cambios de usos de suelo; en esta propuesta de modelación se incorporara el análisis de las emisiones de la producción de sector forestal y de forma indirecta se incorporaran las emisiones que se generan por un incremento en la producción agropecuaria, bajo el supuesto de que mayor producción, incrementa la superficie agrícola debido a la deforestación.

El modelo de equilibrio general desarrollado representa la economía mexicana a través de 13 sectores, seleccionados a partir de las ramas económicas reportadas en la Matriz

Insumo Producto (MIP) del año 2012 (INEGI, 2017); se reportan dos consumidores tipo (rural y urbano) obtenidos a partir de la Encuesta Nacional de Ingreso Gasto de los Hogares 2016 (INEGI, 2017); y el cálculo de las emisiones de GEI⁷ a partir de la producción, calculadas a partir de los coeficientes de estimación de la literatura y los calculados durante esta consultoría (Ruiz Nápoles, 2011). Este modelo muestra a través de ecuaciones simultáneas el funcionamiento de los mercados y su impacto macroeconómico; para ello, se describe un estado base o situación actual y a partir de ahí se desarrollan dos diferentes tipos de escenarios 1) ajuste de política y 2) escenarios de NDC.

3.2 Fuentes de información

Esta investigación incorpora información nacional de fuentes oficiales o publicaciones de artículos arbitrados para construir y calibrar los diferentes insumos requeridos por el modelo. Una de las ventajas de construir este modelo con bases de datos nacionales es que puede ser actualizado cuando se cuente con insumos más recientes, y que puede ser utilizado como referencia para construir otros modelos nacionales. Para elaborar un modelo de equilibrio general se requiere elaborar dos matrices base: una Matriz Insumo Producto (MIP) agregada a nivel de los sectores que se van a modelar y una Matriz de Contabilidad Social cuadrada.

3.2.1 Matriz de Insumo Producto 2012

Se utilizó la actualización de la MIP 2012 que es parte del Sistema de Cuentas Nacionales de México (SCNM), es un tabulado de doble entrada, que muestra las relaciones intersectoriales de la economía; está conformada por un sistema de cuadros que reflejan las relaciones entre los sectores y agentes del ciclo económico (INEGI, 2017) Esta matriz tuvo ajustes de minimización de diferencias por el Método RAS, el año base es 2008 y la serie anual 2003 a 2012. La MIP 2012 está basada en el marco conceptual y metodológico

⁷ Las emisiones de GEI se reportarán en Giga Gramos de CO₂ equivalente.

del Sistema de Cuentas Nacionales 2008 (SCN 2008) y el Manual sobre la compilación y análisis de Cuadros de insumo-producto.

Los principales supuestos del modelo son (INEGI, 2017):

- a) Cada sector produce un solo bien o servicio bajo una misma técnica; es decir, se supone que cada insumo es proporcionado por un solo sector de producción, lo que implica que se emplea la misma tecnología de producción
- b) No ocurren cambios en el corto plazo de la estructura productiva de cada sector, por lo que la proporción de insumos que requiere cada uno, será fija.
- c) En el corto plazo, los insumos que requiere cada sector en la elaboración de un producto, varían en la misma proporción en que se modifica la producción sectorial.
- d) Se mantiene la relación de precios relativos presente en el año en que se elabora la matriz.
- e) Cada sector elabora un solo producto, implica que las transacciones intersectoriales deberán corresponder a una matriz simétrica, por lo que el modelo que explica esta interacción se denomina Modelo simétrico de insumo-producto.

Figura 9. Estructura y composición de la MIP 2012

The figure displays a detailed input-output matrix for Mexico in 2012. It is organized into several horizontal and vertical sections. The top-left section is a triangular matrix representing intersectoral flows. The right side of the matrix is divided into three main color-coded sections: green for intermediate demand (I- DEMANDA INTERMEDIA), blue for final demand (II- DEMANDA FINAL), and red for value added and product (III- VAB Y PD). The bottom section shows value added and product flows. A legend at the bottom right identifies the color coding: green for I- DEMANDA INTERMEDIA, blue for II- DEMANDA FINAL, and red for III- VAB Y PD.

Esta matriz se divide en tres cuadrantes: 1) Demanda Intermedia, 2) Demanda final y 3) Compras de residentes y no residentes, valor agregado, impuestos y subsidios.

El Cuadrante 1, Demanda Intermedia de origen doméstico e importado, contiene los insumos de bienes y servicios utilizados por las actividades económicas en la economía total, para realizar sus procesos productivos.

El Cuadrante 2, Demanda Final de origen doméstico e importado, integrada por el valor de las compras que realizan los consumidores finales de los bienes y servicios generados por las actividades económicas. La demanda final está conformada por el Consumo Privado; Consumo de Gobierno; Formación Bruta de Capital Fijo; Variación de Existencias; Exportaciones, menos las Importaciones CIF y Discrepancia Estadística. La suma de la demanda intermedia más la demanda final es igual a la Utilización Total a precios básicos.

En el Cuadrante 3, se registran las compras netas de residentes y no residentes; y los impuestos sobre bienes y servicios netos de subsidios; al agregar éstos a los usos de la economía interna de origen doméstico e importado, se obtiene el total de usos a precios de comprador. Se encuentra también el Valor Agregado Bruto de la Economía Total, que es igual al Valor Bruto de Producción a precios básicos, menos el Consumo Intermedio a precios de comprador.

El PIB de la economía total, se obtiene mediante la suma del Valor Agregado Bruto más los impuestos sobre bienes y servicios netos de subsidios. El Valor Agregado Bruto se desglosa por los siguientes componentes: Remuneración de asalariados con su desagregación en sueldos, salarios, contribuciones sociales efectivas a la seguridad social y otras prestaciones sociales; Impuestos netos de Subsidios sobre la producción y el Excedente Bruto de Operación (INEGI, 2013).

3.2.2 Selección de los sectores para enfoque metodológico

La MIP permite analizar la economía en términos de sectores industriales, la clasificación sub-sectorial de este instrumento está basada en el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte 2007 (SCIAN, 2017), el cual especifica las características de cada subsector económico utilizado.

Para la selección de los sectores a utilizar, se consideraron los datos desagregados de la MIP a nivel de rama (259 ramas), mismas que se agruparon para dar lugar a los 13 sectores seleccionados, la selección de los sectores se basó en una agrupación que permitiera clasificarlos acorde a los 5 sectores del IPCC, y desagregar aquellos de interés que en este caso fueron los correspondientes al sector forestal y agropecuario, que conforman el sector AFOLU del IPCC. En la

Tabla 7 se presentan los sectores que se utilizaran en el modelo a partir de las ramas seleccionadas. En el Anexo II se presenta la tabla completa con las ramas presentadas en la MIP 2012, y la agregación en los 13 sectores seleccionados.

Tabla 7. Integración de las ramas en los sectores a utilizar

No sector	IPCC	Nombre largo	Ramas del SCIAN
1	ENERGIA	Energía	Agregado de 12 ramas económicas
2	ENERGIA	Transporte	Agregado 15 ramas económicas
3	IPPU	Procesos industriales y uso de productos (transformación)	Agregado de 73 ramas económicas
4	AFOLU	Procesos ganadería	Agregado de 2 ramas económicas (3116,3161)
5		Procesos maderables	Agregado de 3 ramas económicas (3211,3212,3219)
6		Procesos agrícolas	Agregado de dos ramas (3253,3331)
7		Procesos Papel	Agregado de dos ramas (3221, 3222)
8		Aprovechamiento Forestal	Agregado de 3 ramas económicas (1132,1133,1153)
9		agrícola Anual	Agregado de 3 ramas económicas (1111,1112, 1114)
10		Agrícola perenne	Agregado de 3 ramas económicas (1119, 1113,1151)

No sector	IPCC	Nombre largo	Ramas del SCIAN
11		Ganadería	Agregado de 8 ramas económicas
12	RESIDUOS	Residuos	Agregado de 2 ramas económicas (2221, 5621)
13	NA	Servicios	Agregado de 131 ramas económicas

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3 Construcción de la Matriz de Contabilidad Social

La MCS es un sistema contable de equilibrio general que recopila todas las interacciones existentes en una economía. Para elaborarla esta matriz cuadrada, se deben de considerar los sectores que se utilizarán en el modelo y las categorías de datos que se requieren:

- I. Actividades, datos sectoriales, se obtienen de la MIP.
- II. Valor agregado, datos sectoriales, se obtienen de la MIP.
- III. Valor agregado con impuestos, datos sectoriales, se obtienen de la MIP.
- IV. Bienes domésticos, valores de la producción total menos las exportaciones, se obtienen de la MIP.
- V. Exportaciones, valor de las exportaciones de la MIP.
- VI. Importaciones, valor de las importaciones de la MIP.
- VII. Bien Compuesto, se obtiene de la MIP.
- VIII. Factores:
 - a. Trabajo, se obtiene para cada uno de los consumidores, al tomar en cuenta el sueldo promedio rural y el sueldo promedio urbano que se tiene en la ENIGH 2016.
 - b. Capital, se obtiene para cada uno de los consumidores, con base en el capital que tienen en zonas rurales y urbanas.
- IX. Hogares
 - a. Ingreso, se obtiene para cada uno de los consumidores, al incorporar la proporción entre los ingresos rural y urbano, va ligado a los sueldos y salarios.

- b. Gasto, se obtiene a través de los cruces de la MIP con la proporción de gasto en zona rural y urbana. datos de la ENIGH, con el gasto de cada decil en cada uno de los sectores seleccionados.
- X. Gobierno
 - a. Impuestos indirectos, se obtienen de la MIP.
 - b. Subsidios, se obtienen de la MIP.
 - c. Ingresos del gobierno, se obtienen de la MIP.
- XI. Ahorro e inversión, se obtiene de la MIP, sin embargo, esta categoría se utiliza para ajustar los valores de la MIP.
- XII. Resto del mundo, se compone de la información de comercio con el resto del mundo, se obtienen de la MIP.

La matriz que se elaboró con los sectores representados está conformada por 104 filas por 104 columnas, donde están representadas las actividades económicas a través de 13 sectores económicos y dos consumidores tipo (rural y urbano). En el archivo de Excel Matrices Entregable 3.xls se encuentran las tablas completas para consulta.

3.2.4 Estimación de emisiones de GEI

Una parte fundamental de esta consultoría es que el modelo permita estimar las emisiones de GEI en cada uno de los escenarios. Para estimar las emisiones de GEI de forma general se multiplica un factor de emisión por un dato de actividad. En este caso, el dato de actividad corresponde a la producción sectorial y el factor de emisión corresponde a un coeficiente de emisión de GEI por sector económico para México.

Los coeficientes de intensidad de emisión estiman los niveles absolutos de emisión por rama o sector económico, y se acoplan al Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte, que usa la matriz de insumo-producto de México; posteriormente se calcula el vector de coeficientes de intensidad, para obtener las emisiones por unidad de producto en este caso Gg de CO₂ equivalente de GEI por millón de pesos de VBP (Ruiz Nápoles, 2014b).

Dado que se está por terminar la actualización del Reporte de Inventario Nacional (NIR, por sus siglas en inglés), se utilizaron coeficientes para México tomados de la literatura, y en los casos que esta información no existía se calcularon a partir del Inventario de GEI y CCVC 2013; para las categorías que están conformadas por más de tres ramas económicas y que se contaba con información puntual se estimó el coeficiente a partir de un valor promedio.

Tabla 8. Coeficientes de estimación de emisiones de GEI

Sector	Valor Bruto de la Producción (millones de pesos)	Coeficiente de intensidad (Giga gramos por millón de pesos)	Referencia	Línea base de emisiones ⁸ (Giga gramos)
Energía	3,416,414.85	0.103204577	(INECC, 2017)	352,589.65
Transporte	1,378,254.32	0.027922198	(INECC, 2017)	38,483.88
Procesos industriales y uso de productos	6,982,464.15	0.087856115	(INECC, 2017)	613,452.17
Procesos ganadería	420,797.64	2.693	(Ruiz Nápoles, 2011)	1,133,208.04
Procesos maderables	65,212.75	0.932480559	(INECC, 2017)	60,809.62
Procesos agrícolas	85,970.95	0.643066667	PROMEDIO	55,285.05
Procesos Papel	163,718.39	0.085997751	(INECC, 2017)	14,079.41
Aprovechamiento Forestal	19,673.815	0.199346714	(INECC, 2017)	3,921.910365
Agrícola Anual	250,696.598	0.107371429	PROMEDIO	26,917.65187
Agrícola perenne	194,216.543	0.085997751	(INECC, 2017)	16,702.18595
Ganadería	279,544.789	8.02	(Ruiz Nápoles, 2011)	2,241,949.208
Residuos	78,190.819	0.0453	(Ruiz Nápoles, 2011)	3,542.044101
Servicios	12,974,509.69	0.128251658	PROMEDIO	1,664,002.379

Fuente: INECC.

3.3 Desarrollo del MEG estático

⁸ Estas emisiones son estimadas a partir del coeficiente de intensidad energética y el Valor Bruto de la Producción, no corresponden a las emisiones del GEI, en siguientes pasos se presenta una propuesta de mejora.

El modelo identifica un número de consumidores, cada uno de los cuales se supone que posee una dotación inicial de un número de bienes y factores y un conjunto de preferencias. De la maximización de la utilidad se obtienen las funciones de demanda para cada bien y las demandas de mercado se definen como la suma de cada una de las demandas individuales.

Las demandas de mercado de los bienes dependen de todos los precios, éstas son continuas, no negativas, homogéneas de grado cero y satisfacen la ley de Walras, de tal manera que a cualquier conjunto de precios, el valor total del gasto del consumidor es igual a su ingreso y su ahorro (Araujo-Gutiérrez Z. M., 2016; Bravo Pérez, 2009).

La tecnología utilizada en la producción se describe por funciones de producción con rendimientos constantes o decrecientes a escala y por productores maximizadores de beneficios. La homogeneidad cero de las funciones de demanda junto con la homogeneidad lineal de beneficios con respecto a los precios, implica que solamente los precios relativos son relevantes para estos modelos y los precios absolutos no tienen ningún impacto.

3.3.1 Especificación del modelo estático

Un equilibrio en este modelo se caracteriza como un conjunto de precios y niveles de producción en cada industria, de tal manera que, para todos los bienes la demanda de mercado es igual a la oferta de mercado. El análisis de equilibrio general se basa en la premisa de que bajo ciertos supuestos un equilibrio existe (Pérez-Mendoza, 2008).

Los bienes

Los bienes que se producen en esta economía son 13, que representan las cinco categorías del IPCC, y una desagregación más puntual para la parte Usos del Suelo, Cambios de Uso de Suelo y Silvicultura, agrícola, y pecuaria.

Los Consumidores

En este análisis se incluyen dos tipos de consumidores, al considerar un efecto diferenciado entre las proporciones de consumo de productos forestales por los consumidores rurales y urbanos. Para caracterizar a estos consumidores se utilizó la Encuesta Nacional de Ingreso Gasto de los Hogares (ENIGH) elaborada por el INEGI en 2016.

Los consumidores en esta economía tienen preferencias que pueden ser representadas por medio de una función de utilidad Cobb-Douglas, misma que tiene como variables a todos los bienes que se producen en la economía (13 sectores económicos). Se asume que el consumo de todos los bienes produce una utilidad marginal positiva y comportamientos optimizadores por parte de los agentes (Pérez-Mendoza, 2008).

El problema del consumidor h (h representa cada uno de los consumidores tipo) está dado por una función Cobb-Douglas representativa (Araujo-Gutiérrez Z. M., 2016; Pérez-Mendoza, 2008).

$$\begin{aligned} \text{Max } U^h(C_1^h, C_2^h, C_3^h \dots C_{13}^h) &= (C_1^h)^{\alpha_1} (C_2^h)^{\alpha_2} (C_3^h)^{\alpha_3} \dots (C_{13}^h)^{\alpha_{13}} \\ \text{s. a. } P_1 C_1^h + P_2 C_2^h + \dots + P_{13} C_{13}^h &= (1 - s^h) I_d^h \end{aligned}$$

Dónde:

$$\alpha_1^h + \alpha_2^h + \alpha_3^h + \dots + \alpha_{13}^h = 1$$

$$I_d^h = (1 - \tau_d^h)(w\bar{L}^h + r\bar{K}^h)$$

$$h=1,2$$

Dónde:

U^h : Utilidad del consumidor

C_i^h : Cantidad total demandada de un bien i ;

P_i : precio del bien compuesto i (bien doméstico e importado)

I_d^h : Ingreso disponible del consumidor h

s_h : Tasa de ahorro del consumidor h

τ_d^h : impuesto sobre la renta

$w\bar{L}^h$: Trabajo por el salario para el consumidor h

$r\bar{K}^h$: Capital por el precio del capital para el consumidor h

Factores

En esta economía hay dos factores: 1) capital, K y 2) trabajo, L , cuyos precios son r y w respectivamente. Los consumidores son los propietarios de la totalidad de los factores y deriva ingresos de la renta de ambos. La oferta de capital y trabajo es fija, no obstante, la demanda de capital y trabajo no lo son; por lo que se ajustan a través de las variables: w y r (Araujo-Gutiérrez Z. M., 2016; Pérez-Mendoza, 2008).

Los insumos intermedios y el Valor Agregado

Se asume que la oferta de factores es inelástica; la producción de cada bien requiere del uso de insumos intermedios, los cuales pueden ser tanto nacionales como importados; son usados en las mismas proporciones que cuando son demandados por el consumidor; por ello se utilizará la misma función para cualquier composición de bien compuesto de esta economía.

Se asume que hay sustitución entre trabajo y capital, más no entre insumos intermedios los cuales son perfectos complementos; para ello se utiliza una función anidada. Cada firma de cada sector demanda trabajo y capital para obtener al costo mínimo una cierta cantidad de valor agregado (VA), el cual se genera mediante una función Cobb-Douglas, con la siguiente función (Araujo-Gutiérrez Z. M., 2016; Pérez-Mendoza, 2008):

$$\text{Min } CVA_i = w\bar{L}_i + r\bar{K}_i$$

$$\text{s. a } \bar{VA}_i = A_i L_i^{\beta_i} K_i^{1-\beta_i}$$

Dónde:

CVA_i representa el costo de producir valor agregado (\overline{VA}_i)

w : Salario

\bar{L}_i : Trabajo demandado en el sector i

r : Renta de capital

\bar{K}_i : Capital demandado en el sector i

Se asume que cada firma combina VA e insumos intermedios en proporciones fijas para generar producto, por lo que se empleara una función de tipo Leontief. Al agregar el impuesto al valor agregado (IVA), se expresa de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \text{Min } CT_i &= (1 + \tau_i)(wL_i + rK_i) + \sum_{i,j=1}^{13} P_i II_{i,j} \\ \text{s. a } Y_i &= \min \left[\frac{VA_i}{a_{VAi}}, \frac{II_{1i}}{a_{1i}}, \frac{II_{2i}}{a_{2i}}, \frac{II_{3i}}{a_{3i}}, \frac{II_{4i}}{a_{4i}}, \dots, \dots, \frac{II_{13i}}{a_{13i}} \right] \end{aligned}$$

Dónde:

CT_i : Minimización de los costos para producir el bien i

P_i : precio del insumo i

$II_{i,j}$: Cantidad demandada del insumo j demandada por el sector i

a_{VAi} : Cantidad de valor agregado requerida por unidad de producto en el sector i ,

a_{ij} : Cantidad del insumo j para producir i

Se asume una competencia perfecta por lo que los ingresos son iguales a los costos.

$$P_i Y_i = (1 + \tau_i)(wL_i + rK_i) - B_i + \sum_{i,j=1}^{13} P_i II_{i,j}$$

El productor

Cada uno de los bienes es producido en una industria que actúa en un ambiente de competencia perfecta y produce un bien productos intermedios y factores. Se supone que los productores minimizan los costos sujetos a un nivel de producción dada, para alcanzar este nivel de producción se cuenta con una tecnología que puede ser representada por medio de una función Cobb-Douglas.

Se asume también que cada mercancía compuesta (nacional e internacional) es una función CES de los bienes producidos en el extranjero (M_i) y de las nacionales (D_i).

$$\chi_i = \bar{\chi}_i \left[\mu_i (D_i)^{1-\frac{1}{\rho_i}} + (1 - \mu_i) (M_i)^{1-\frac{1}{\rho_i}} \right]^{\frac{\rho_i}{\rho_i-1}} \quad i = 1, 2, 3, 4, \dots, 13$$

Dónde:

χ_i : Cantidad total demandada del bien i

ρ_i : Elasticidad de sustitución del bien nacional i y de bien importado i ,

D_i : Bien nacional i

M_i : Representa el bien internacional i

A partir de lo anterior, el consumidor obtiene la composición óptima del bien compuesto al resolver un problema de minimización del costo del bien compuesto sujeto a la función que representa:

$$\text{Min } P_i^d D_i + P_i^m M_i$$

$$\text{s. a. } \chi_i = \bar{\chi}_i \left[\mu_i (D_i)^{1-\frac{1}{\rho_i}} + (1 - \mu_i) (M_i)^{1-\frac{1}{\rho_i}} \right]^{\frac{\rho_i}{\rho_i-1}}$$

De lo anterior se obtiene la proporción equivalente del bien domestico dentro del bien compuesto ($U D_i$):

$$U D_i = \frac{1}{\bar{\chi}_i} \left(\frac{P_i^d}{\mu_i} \right)^{-\rho_i} \left[(P_i^d)^{1-\rho_i} \mu_i^{\rho_i} + (P_i^m)^{1-\rho_i} (1 - \mu_i)^{\rho_i} \right]^{\frac{\rho_i}{\rho_i-1}}$$

Así mismo los precios de los bienes compuestos están dados por los precios de los bienes domésticos, los precios de bienes importados y los aranceles. Los precios son obtenidos mediante la minimización del costo del bien compuesto (Araujo-Gutiérrez Z. M., 2016; Pérez-Mendoza, 2008).

$$P_i = \left(\frac{1}{\lambda_i} \right) \left[(P_i^d)^{1-\rho_i} \mu_i^{\rho_i} + (P_i^m)^{1-\rho_i} (1 - \mu_i)^{\rho_i} \right]^{1-\frac{1}{\rho_i}}$$

$$P_i^m \text{ satisfice: } P_i^m = \overline{PM}_i TC (1 + t_i^m)$$

$$P_i = f(P_i^d, P_i^m)$$

Dónde:

t_i^m : Arancel del bien importado i ,

\overline{PM} : Precio internacional del bien i ,

TC : Tipo de cambio

Las importaciones y exportaciones

Se asume que la oferta de importaciones es perfectamente inelástica, la economía no puede alterar los precios internacionales y se pueden comprar todos los bienes importados que desee. Se asume de la misma forma que la demanda del resto del mundo por las exportaciones depende del precio del bien exportado relativo a algún nivel de precio mundial. Las exportaciones del bien i producido nacionalmente están dadas por:

$$E_i = \bar{E}_i \left(\frac{\overline{PE}_i}{P_i^d / TC} \right)^{\eta_i}$$

Dónde:

\bar{E}_i : Es el valor de las exportaciones si el precio nacional en moneda extranjera

(P_i^d / TC) coincide con el internacional (\overline{PE}_i) ;

η_i : Es la elasticidad de la demanda de exportaciones del bien i .

En este modelo se asume que los productores son indiferentes entre vender sus productos internamente o en el extranjero (Araujo-Gutiérrez Z. M., 2016; Pérez-Mendoza, 2008).

La inversión

La cantidad total de la inversión es exógena, es decir, el ahorro se ajusta para permitir el equilibrio macroeconómico. Así la inversión se da en proporciones fijas por lo que la ecuación que la define es:

$$Z_i = \lambda_i \frac{\overline{INV}}{P_i}$$

Dónde:

λ_i : Representa la fracción que representa la cantidad invertida en el sector i respecto a la inversión total \overline{INV} ,

\overline{INV} : Representa la inversión total,

s_g : Representa el ahorro privado (sumatoria de s_p de cada hogar).

s_p : Representa el ahorro de cada hogar.

s_e : Representa el ahorro externo, -se ajusta para permitir el equilibrio-.

$$\overline{INV} = s_g + \sum_{h=1}^2 s_p^h + s_e$$

Gobierno

El gobierno gasta una cantidad fija en cada bien compuesto existente, y sin importar el precio de los mismos, por lo que en caso necesario recurrirá al endeudamiento, por lo tanto, el gasto de gobierno se expresa en (\bar{G}_i), y el ingreso del gobierno está dado por I_g :

$$G_i = \bar{G}_i$$

Donde $i=1,2,3,\dots,14$

$$I_g = \sum_{i=1}^{14} \tau_i (\overline{wL}_i + \overline{rK}_i) + \sum_{h=1}^2 \tau_d (wL^h + rK^h) + \sum_{i=1}^{14} \overline{PM}_i TC \tau_i^m M_i$$

Por lo tanto, el ahorro público está dado por:

$$s_g = I_g - \sum_{i=1}^{14} B_i - \sum_{i=1}^{14} P_i \overline{G}_i$$

Donde el ahorro del gobierno depende de los ingresos menos los subsidios (B_i) y el gasto que tiene en bienes y servicios. El numerario será el tipo de cambio (Araujo-Gutiérrez Z. M., 2016; Pérez-Mendoza, 2008).

Reglas de cierre

Estas reglas sirven para determinar qué precios y qué cantidades deben ser exógenas para tener el mismo número de variables y de ecuaciones; estas reglas están relacionadas con el mercado de factores y con el balance entre ahorro e inversión.

Para el mercado de factores se utilizará la regla de cierre Walrasiana, en la que dice que la oferta de capital y trabajo es fija y la demanda de capital y trabajo no son fijas, las variables que se van a ajustar son: w y r ; para permitir el equilibrio. Para el ahorro e inversión se toma la regla de cierre que indica que la inversión es exógena y el déficit en cuenta corriente es un residual que se ajusta para permitir el balance entre ahorro e inversión, esta regla es llamada: regla de cierre dirigida por inversión.

3.3.2 Definición de equilibrio

En equilibrio, las cantidades ofrecidas han de ser iguales a las demandadas en todos los mercados de bienes y servicios. Se considera que hay empleo total de factores (capital y trabajo). El equilibrio es un vector de precios y una asignación en la que los consumidores maximizan su utilidad, los sectores productivos maximizan sus beneficios netos de

impuestos, los ingresos del sector público coinciden con los pagos de los diferentes agentes económicos, todos los mercados de bienes, servicios y factores se vacían.

Un equilibrio competitivo está formado por:

- Un vector de precios:

$$P_i, P_i^d, P_i^m, TC, w, r, P_i^{r^m}$$

- Un vector de cantidades:

$$\chi_i, Y_i, L_i, K_i, VA_i, Ig, \bar{I}_d^h, G_i, \bar{\Pi}_j, \bar{C}_i^h, Z_i, D_i, E_i, M_i, \bar{UD}_i, s_p^h, s_g, s_e, B_i,$$

Dónde:

$$i \text{ y } j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13$$

$$h = 1, 2$$

- Demanda de cantidades del consumidor:

$$(\bar{C}_i)^h = \alpha^h \frac{(1 - s^h) I_d^h}{\bar{P}_i}$$

Dónde:

$$\sum_i^h \alpha = 1$$

Los precios están dados por:

$$P_i = \left(\frac{1}{\bar{\chi}_i} \right) \left[(\bar{P}_i^d)^{1-\rho_i} \mu_i^{\rho_i} + (\bar{P}_i^m)^{1-\rho_i} (1 - \mu_i)^{\rho_i} \right]^{1-\frac{1}{\rho_i}}$$

Dónde:

$$P_i^m = PM_i * TC * (1 + \tau_i^m)$$

El ingreso disponible (I_d^h), y el ahorro del consumidor, están dados por:

$$I_d^h = (1 - \tau_d^h)(w\bar{L}^h + r\bar{K}^h)$$

$$s_p^h = s^h * I_d^h$$

- Las cantidades demandadas de los factores satisfacen:

$$L_i = \left(\frac{VA_i}{A_i}\right) \left(\frac{\beta}{1-\beta} \frac{r}{w}\right)^{1-\beta}$$

$$K_i = \left(\frac{VA_i}{A_i}\right) \left(\frac{1-\beta}{\beta} \frac{w}{r}\right)^{\beta}$$

Dónde:

$$i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13$$

- La demanda de valor agregado satisface:

$$\overline{VA}_i = a_{VA_i} Y_i$$

Dónde:

$$i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13$$

- Las demandas de los insumos están dadas por:

$$\overline{II}_{i,j} = a_{ij} Y_i$$

Dónde:

$$i \text{ y } j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13$$

- Competencia perfecta, ganancias iguales a cero:

$$P_i^d Y_i = (1 + \tau_i)(wL + rK) - B_i + P_1 II_{1i} + P_2 II_{2i} + P_3 II_{3i} + P_4 II_{4i} + \dots + P_{13} II_{13i}$$

Dónde:

$$i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13$$

- Del gobierno las cantidades demandadas son:

$$G_i = \overline{G}_i$$

Dónde:

$$i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13$$

- El ingreso del gobierno está dado por:

$$I_g = \sum_{i=1}^{13} \tau_i (wL_i + rK_i) + \sum_{h=1}^2 \tau_d (\overline{wL^h} + \overline{rK^h}) + \sum_{i=1}^{13} \overline{PM_{i,t}} TC t_i^m M_i$$

Por lo tanto, el ahorro público está dado por:

$$s_g = I_{g,t} - \sum_{i=1}^{13} B_i - \sum_{i=1}^{13} P_i \bar{G}_i$$

- La inversión por sector de origen está dada por:

$$Z_i = \lambda_i \frac{\overline{INV}}{P_i}$$

- El ahorro del consumidor h está dado por:

$$s_p^h = s^h * I_d^h$$

- La identidad ahorro -inversión:

$$\overline{INV} = \sum_{h=1}^h s_p^h + s_g + s_e$$

- Las exportaciones del bien i satisfacen:

$$\bar{E}_i = \bar{\epsilon}_i \left(\frac{\overline{PE}_i}{\overline{P_i^d} / TC} \right)^{\eta_i}$$

- La demanda por importaciones está en función de:

$$\bar{M}_i = \frac{\bar{P}_i (\sum_{j=1}^{13} \overline{II}_{ji} + \sum_{h=1}^2 C_i^h + G_i + Z_i) - \overline{P_i^d} (D_i)}{P_i^m}$$

- El ahorro externo está determinado por el déficit comercial:

$$\bar{s}_e = \sum_{i=1}^{13} P_i^m TC M_i - \sum_{i=1}^{13} P_i^d E_i$$

- La demanda interna por el bien domestico i se representa:

$$\bar{D}_i = UD_i \left(\sum_{j=1}^{13} \bar{\Pi}_{i,j} + \sum_{h=1}^2 C_i^h + G_i + Z_i \right)$$

Dónde:

$$\bar{UD}_i = \frac{1}{\bar{\chi}_i} \left(\frac{\bar{P}_i^d}{\mu_i} \right)^{-\rho_i} \left[(\bar{P}_i^d)^{1-\rho_i} \mu_i^{\rho_i} + (\bar{P}_i^d)^{1-\rho_i} (1 - \mu_i)^{\rho_i} \right]^{\frac{\rho_i}{\rho_i-1}}$$

- Los mercados de bienes están en equilibrio:

$$D_i + E_i = \bar{Y}_i$$

Donde

$$i=1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13$$

- Los mercados de factores están en equilibrio:

$$\sum_{h=1}^2 L^h = \sum_{i=1}^{13} L_i$$

$$\sum_{h=1}^2 K^h = \sum_{i=1}^{13} K_i$$

- El tipo de cambio es fijo:

$$TC = \bar{TC}$$

El modelo es un sistema de 375 ecuaciones:

$$P_i, P_i^d, P_i^m, TC, w, r, Y_i, L_i, K_i, \bar{I}g, \bar{I}d^h, \bar{G}_v, \bar{II}_{jv}, \bar{VA}_i, \bar{C}_i^h, \bar{Z}_i, \bar{E}_v, \bar{D}_v, \bar{M}_v, \bar{UD}_v, \bar{s}_g, \bar{s}_e, \bar{s}_p^h, B_i,$$

Cuenta también con 214 parámetros y 7 variables exógenas; parámetros:

$$(\alpha_i^h, \beta_i, A_i, \tau_i, \tau_d^h, a_{VA_i}, a_{ij}, \rho_i, \mu_i, \tau_i^m, \lambda_i, s^h, \eta_i, \varepsilon_i, \chi_i)$$

Variables exógenas:

$$\bar{INV}, \bar{PE}_i, \bar{PM}_i, \bar{L}^h, \bar{K}^h$$

3.3.3 Calibración del modelo

Para calibrar el modelo se requieren los insumos de la Matriz de Contabilidad Social, que agrupa todas las interacciones de la economía. Adicionalmente, se cuenta con ecuaciones para cada uno de los parámetros, que se muestran a continuación:

- El valor de α se despeja de la función de demanda:

$$\alpha_i^h = \frac{P_i C_i^h}{I_d^h}$$

- El valor de β , se estima a partir de la expresión de los precios relativos en equilibrio de los factores: (β_i representa la participación de los sueldos pagados en el sector i , respecto al total del costo de producción de dicho sector).

$$\beta_i = \frac{w \bar{L}_i}{w \bar{L}_i + r \bar{K}_i}$$

- El valor de A_i se despeja de la función de producción:

$$A_i = \frac{Y_i}{L_i^{\beta_i} K_i^{1-\beta_i}}$$

- El IVA se obtiene a partir de la información de la matriz de contabilidad social y la siguiente ecuación:

$$\tau_i = \frac{IVA}{VA_i}$$

- La tasa de impuesto sobre la renta, se determina por la participación del pago que hace el consumidor por este concepto con respecto al ingreso total, y los valores se obtienen de la matriz de contabilidad social.

- Los coeficientes a_{VAi} , se obtienen:

$$a_{VAi} = \frac{VA_i}{Y_i}$$

- Los coeficientes a_{ij} se obtienen:

$$a_{ij} = \frac{II_{ij}}{Y_i}$$

- Las elasticidades de sustitución entre bienes domésticos e importados se tomaron de la literatura (Tabla 9).

Tabla 9. Elasticidades de sustitución por rama económica

N°	Sector	Elasticidad	Fuente
1	Energía	0.9053	Promedio ⁹
2	Transporte	0.98	(Balistreti, Mc Daniel, & Wong, 2002; Salgado & Bernal, 2007)
3	Procesos industriales y uso de productos (transformación)	0.8495	Promedio
4	Procesos ganadería	1.181	(Hernández Laos, 2002)
5	Procesos maderables	0.661	(Hernández Laos, 2002)
6	Procesos agrícolas	0.83	(Hueter, 1997)
7	Procesos Papel	1.014	Mismo valor por servicios
8	Aprovechamiento, tala y viveros	0.83	(Hueter, 1997)
9	Agrícola Anual	0.83	(Balistreti, Mc Daniel, & Wong, 2002)
10	Agrícola perenne	1.019	(SHCP, 1999)

⁹ Las elasticidades que tienen en la columna de fuente “promedio” son aquellas donde la elasticidad se estimó a partir de elasticidades de diferentes ramas económicas, en el archivo Matrices Entregable 3 se encuentran las elasticidades utilizadas para los promedios.

N°	Sector	Elasticidad	Fuente
11	Ganadería	0.94	(Hueter, 1997)
12	Residuos	0.83	(Salgado & Bernal, 2007)
13	Servicios	1.014	Promedio

- Para calibrar se utilizaron las condiciones de primer orden del problema de minimización de costos del bien compuesto, donde se obtiene:

$$\frac{\mu_i}{(1 - \mu_i)} = \frac{P_i^d (D_i)^{\left(\frac{1}{\rho_i}\right)}}{P_i^m (M_i)^{\left(\frac{1}{\rho_i}\right)}}$$

Los valores de D_i y M_i se obtienen de la matriz de contabilidad social.

- Como se mencionó anteriormente se asume que los precios domésticos e internacionales en equilibrio son iguales a 1, y los aranceles son 0¹⁰.
- El parámetro \bar{C}_i se obtiene de la función de bien compuesto, donde queda:

$$\bar{C}_i = \frac{C_i}{\left[\mu_i (D_i)^{1-\frac{1}{\rho_i}} + (1 - \mu_i) (M_i)^{1-\frac{1}{\rho_i}} \right]^{\frac{\rho_i}{\rho_i-1}}}$$

La función del bien compuesto es:

$$C_i = \bar{C}_i \left[\mu (D_i)^{1-\frac{1}{\rho_i}} + (1 - \mu_i) (M_i)^{1-\frac{1}{\rho_i}} \right]^{\frac{\rho_i}{\rho_i-1}}$$

- Se asume también que la elasticidad de demanda de exportaciones de cada bien es igual a 1 ($\eta_1=1, \eta_2=1, \eta_3=1, \eta_4=1, \dots, \eta_{14}=1$).
- Para el parámetro ε_i , se asume que tanto el tipo de cambio como los precios internacionales son iguales a uno por lo que queda que este parámetro es igual al valor de las exportaciones en el año base:

$$E_i = \varepsilon_i$$

¹⁰ Sin embargo, los aranceles pueden cambiarse como parte de la simulación realizar, estos solo corresponden a la situación de equilibrio.

- El valor de lambda se determina a partir de la ecuación de Inversión:

$$\lambda_i = \frac{P_i Z_i}{INV}$$

3.4 Escenarios para el modelo estático

Para dar cumplimiento a los términos de referencia de la presente consultoría se desarrollaron cuatro propuestas de escenarios para representar en el modelo estático, estos se agrupan en dos categorías: 1) Ajustes de política y 2) Contribuciones Nacionalmente Determinadas.

Un modelo de equilibrio general con el tipo de especificación presentada aquí permite desarrollar diferentes escenarios de simulación, no obstante, se seleccionaron estos cuatro que permiten ilustrar el alcance del modelo, en el capítulo 6 (Recomendaciones y siguientes pasos) se presentan propuestas adicionales del tipo de modelos que se pueden desarrollar.

3.4.1 Escenarios de ajustes de política

Estos escenarios hacen referencia a cambios específicos en políticas públicas que tengan una incidencia sobre los sectores forestal y agropecuario, se van a presentar dos propuestas de escenarios, uno que corresponda a cada sector.

Impuesto agrícola

El primer escenario en este grupo de esquemas es el asignar un **impuesto agrícola**, el fundamento de este escenario es que con un impuesto agrícola se incrementan los costos de producción, y los productores tendrán que evaluar la si ese uso continua con la misma rentabilidad o bien, cambian sus actividades productivas, por ejemplo, cambiar a usos

forestales y hacer una reconversión del suelo a su vocación original. En este caso el impuesto se aplica a los sectores agrícola anual y agrícola perenne con una tasa de impuesto del 20%.

La base conceptual de asignar un nuevo impuesto a la producción es incrementar su costo para que se busque hacer eficiente el proceso productivo o en su defecto se disminuya su consumo y en consecuencia, su producción, a fin de generar menores residuos y que el impacto sobre el medio ambiente sea mínimo. La respuesta del mercado a estas iniciativas depende mucho de la flexibilidad o elasticidad de la demanda, por lo que en algunos casos el mayor logro de estos nuevos impuestos ha sido la generación de recursos (Araujo-Gutiérrez Z. M., 2016).

Para este escenario las modificaciones que se requieren incluyen las ecuaciones de producción y gobierno principalmente como se detalla a continuación: en la ecuación del gobierno los ingresos cambian ya que hay un ingreso adicional que corresponde al impuesto nuevo:

$$I_g = \sum_{i=1}^{13} \tau_i (\overline{wL}_i + \overline{rK}_i) + \sum_{h=2}^2 \tau_d (wL^h + rK^h) + \sum_{i=1}^{13} \tau_i (wL_i + rK_i) + \sum_{i=1}^{13} \overline{PM}_i TC \tau_i^m M_i$$

Dónde: τ_i , es el impuesto y el resto de la especificación queda igual que el modelo en equilibrio. La ecuación de competencia perfecta también cambia, para seguir con el equilibrio de ganancias iguales a cero:

$$P_i^d Y_i = (1 + \tau_i)(wL + rK) + (1 + \tau_i)(wL + rK) - B_i + P_1 I_{1i} + \dots + P_{13} I_{13i}$$

donde $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13$

Impuestos diferenciados

El segundo escenario que se presentará en este enfoque, es el asignar una **tasa impositiva** diferenciada a al sector ganadero (25%), el sector procesos ganaderos (25%), procesos agrícolas (15%) y agrícola anual (15%), el supuesto es que habrá una preferencia por cambios de uso de la superficie hacia agrícola perene y hacia usos forestales.

Para este escenario las modificaciones que se requieren incluyen las ecuaciones de producción y gobierno principalmente como se detalla a continuación: en la ecuación del gobierno los ingresos cambian ya que hay un ingreso adicional que corresponde al impuesto diferenciado:

$$I_g = \sum_{i=1}^{13} \tau_i (\overline{wL}_i + \overline{rK}_i) + \sum_{h=2}^2 \tau_d (wL^h + rK^h) + \sum_{i=1}^{13} \tau_i (wL_i + rK_i) + \sum_{i=1}^{13} \overline{PM}_i TC \tau_i^m M_i$$

Dónde: τ_i , es el impuesto, y el resto de la especificación queda igual que el modelo en equilibrio. La ecuación de competencia perfecta también cambia, para seguir con el equilibrio de ganancias iguales a cero:

$$P_i^d Y_i = (1 + \tau_i)(wL + rK) + (1 + \tau_i)(wL + rK) - B_i + P_1 I_{1i} + \dots + P_{13} I_{13i}$$

Donde $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13$

Aranceles

El tercer escenario es un **arancel a las importaciones de aprovechamiento forestal** (15%), **procesos maderables** (10%) **y de procesos de papel** (20%), con el objetivo de impulsar la necesidad de uso de insumos nacionales, que incrementen la producción en los sectores de aprovechamiento forestal, adicionalmente, esto genera una reducción de emisiones, no cuantificada en el modelo, del transporte de los productos internacionales para el mercado nacional.

Los aranceles están incluidos dentro de la modelación, por lo que únicamente se requiere cambiar la tasa de arancel en los datos de entrada del modelo para que se desarrolle este experimento de política.

3.4.2 Contribuciones Nacionalmente Determinadas

Con base en la propuesta de CND presentada por el gobierno mexicano a la CMNUCC para el sector USCUS se propusieron dos metas de mitigación no condicionadas y una meta de mitigación condicionada¹¹.

Las metas de mitigación no condicionadas son 1) Alcanzar una tasa de deforestación cero para el 2030 a través de la ejecución de la ENAREDD+, lo que implica favorecer el desarrollo rural sustentable a partir del manejo forestal y la conservación; 2) Manejo forestal sustentable e incremento de la productividad forestal en bosques y selvas con vocación productiva y en terrenos con potencial para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales, lo que implica impulsar el aprovechamiento forestal sustentable con una producción al 2030 de 15 millones de hectáreas de bosques y selvas y de 462,000 hectáreas de plantaciones forestales comerciales establecidas.

Con esta base, el escenario que se plantea es **incrementar la producción forestal**, de tal forma que en 2030 se tengan 15 millones de ha. De bosques y selvas de manejo forestal.

En 2012¹² existían 7.4 millones de ha. Incorporadas al manejo forestal que sustentaban la producción forestal maderable del país (Diario Oficial de la Federación, 2017), para llegar a la meta establecida de 15 millones de ha., se requiere que anualmente

¹¹ Una meta de mitigación no condicionada implica que se realizará con financiamiento propio del país, y una meta condicionada requiere que exista un financiamiento externo que permita dar cumplimiento a la meta de mitigación.

¹² Se toma el valor de 2012 para ser consistentes con los datos de la Matriz Insumo Producto tomada como base para el desarrollo del modelo estático.

se incrementen 422 mil ha al año, que corresponde a incrementar el 5.8% de la superficie forestal al año. Para poder hacer este escenario en el modelo se requiere convertir este indicador en variables económicas, por lo que se establecerá el supuesto: Incrementar el capital de aprovechamiento forestal un 5.8%, representará el incremento del mismo porcentaje de la superficie forestal destinada a aprovechamiento forestal. Las ecuaciones que se requieren ajustar para este tipo de escenarios son las relativas a producción.

En este caso se asume una tasa de crecimiento del capital de aprovechamiento forestal del 5.8%, a través de la siguiente ecuación:

$$\overline{K_{sec8}} = K * 1.058$$

4. Propuesta conceptual del modelo dinámico

La propuesta de modelo dinámico está basada en el modelo neoclásico de equilibrio general dinámico, inicialmente desarrollado por Ramsey en el año 1928, la ventaja de esta herramienta es que permite disponer de un modelo a escala de la realidad, agregado, simple; con numerosos supuestos, sin embargo, cuenta con las condiciones imprescindibles para que sea un modelo robusto y válido.

4.1 Especificación del modelo dinámico

Los Consumidores

Se propone mantener los 2 consumidores representativos. Los consumidores en esta economía tienen preferencias, representadas por una función de utilidad Cobb-Douglas, misma que tiene como variables los bienes que se producen en la economía (13 sectores económicos). Se asume que el consumo de los bienes produce utilidad marginal positiva y comportamientos optimizadores por parte de los agentes.

El problema del consumidor h está dado por una función Cobb-Douglas representativa para cada uno de los deciles poblacionales para cada momento de análisis (se considerarán 15 tiempos):

$$\text{Max } U_t^h(C_{1,t}^h, C_{2,t}^h, C_{3,t}^h \dots C_{13,t}^h) = (C_{1,t}^h)^{\alpha_{1,t}} (C_{2,t}^h)^{\alpha_{2,t}} (C_{3,t}^h)^{\alpha_{3,t}} \dots (C_{13,t}^h)^{\alpha_{13,t}}$$

$$\text{s. a. } P_{1,t}C_{1,t}^h + P_{2,t}C_{2,t}^h + \dots + P_{13,t}C_{13,t}^h = (1 - s_t^h)I_{d,t}^h$$

Dónde:

$$\alpha_{1,t}^h + \alpha_{2,t}^h + \alpha_{3,t}^h + \dots + \alpha_{14,t}^h \alpha_{15,t}^h \alpha_{16,t}^h = 1$$

$$I_{d,t}^h = (1 - \tau_d^h)(w_t \bar{L}_t^h + r_t \bar{K}_t^h)$$

Dónde: $h = 1, 2$

$t = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15$

Donde $I_{d,t}^h$ representa el ingreso disponible del consumidor h en el tiempo t y $P_{i,t}$ corresponde al precio del bien compuesto i (bien doméstico e importado) en el tiempo t ; $C_{i,t}^h$ representa la cantidad total demandada de un bien i en el tiempo t ; s_t^h representa la tasa de ahorro del consumidor h , en el tiempo t . A su vez el ingreso del consumidor h esta dado el trabajo y el capital menos el impuesto sobre la renta ($\tau_{d,t}^h$), en el tiempo t ; w_t y r_t representan el precio del trabajo y capital en el tiempo t ; \bar{L}_t^h es la cantidad demandada de trabajo y K_t^h es la cantidad de capital de cada hogar por periodo de tiempo.

Factores

En esta economía hay dos factores, capital (K) y trabajo (L), con precios r y w respectivamente, los consumidores son los propietarios de la totalidad de estos factores y deriva ingresos de la renta de ambos, y estos pueden cambiar cada año. La oferta de trabajo es fija y la demanda de trabajo por sector no es fija, la variable que se va a ajustar es: w ; con respecto al capital en el $t = 1$, se determina una cantidad inicial de capital, sin embargo, para los siguientes t se asume una tasa de crecimiento anual de 2.3% anual¹³ (Banco Mundial, 2017).

$$\bar{K}_{t+1} = \bar{K}_t * (1.23)$$

Los insumos intermedios y el Valor Agregado

Se asume que la oferta de factores es inelástica en cada t ; la producción de cada bien requiere del uso de insumos intermedios, los cuales pueden ser tanto nacionales como importados; son usados en las mismas proporciones que cuando son demandados por el

¹³ Se toma como referencia la tasa de crecimiento de México del primer semestre de 2017.

consumidor; por ello se utilizará la misma función para cualquier composición de bien compuesto de esta economía en cada t .

Cada firma de cada sector demanda trabajo y capital para obtener al costo mínimo una cierta cantidad de valor agregado (VA), el cual se genera mediante una función Cobb-Douglas, con la siguiente función:

$$\begin{aligned} \text{Min } CVA_{i,t} &= w_t \bar{L}_t^h + r_t \bar{K}_t^h \\ \text{s. a } \bar{VA}_{i,t} &= A_i L_{i,t}^{\beta_i} K_{i,t}^{1-\beta_i} \end{aligned}$$

Donde $CVA_{i,t}$ representa el costo de producir valor agregado $\bar{VA}_{i,t}$. Se asume que cada firma combina VA e insumos intermedios en proporciones fijas para generar producto, por lo que se empleará una función de tipo Leontief. La inclusión del impuesto al valor agregado (IVA), se expresa de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \text{Min } CT_{i,t} &= (1 + \tau_i)(w_t L_{i,t} + r_t K_{i,t}) + \sum_{i,j=1}^{13} P_{i,t} I_{i,j,t} \\ \text{s. a } Y_{i,t} &= \min \left[\frac{VA_{i,t}}{a_{VAi}}, \frac{I_{1i,t}}{a_{1i}}, \frac{I_{2i,t}}{a_{2i}}, \frac{I_{3i,t}}{a_{3i}}, \frac{I_{4i,t}}{a_{4i}}, \dots, \dots, \frac{I_{13i,t}}{a_{13i}} \right] \end{aligned}$$

donde $I_{ji,t}$ es la cantidad demandada del insumo j demandada por el sector i en el tiempo t , $a_{VAi,t}$ representa la cantidad de valor agregado requerida por unidad de producto en el sector i , en el tiempo t , a_{ij} es la cantidad del insumo j para producir i en el tiempo t .

Si se suponen rendimientos constantes a escala y mercados competitivos entonces $I_{ji,t} = 0$. Como se comprueba, el problema para la maximización de beneficios de la empresa es estático, si bien las empresas toman sus decisiones en un contexto dinámico. Si se resuelve el problema de maximización de beneficios en un contexto dinámico, el resultado es exactamente el mismo, dados los supuestos planteados, las empresas alquilan periodo a

periodo el factor productivo trabajo y el factor productivo capital. Se asume una competencia perfecta por lo que los ingresos son iguales a los costos.

$$P_{i,t}Y_{i,t} = (1 + \tau_i)(w_tL_{i,t} + r_tK_{i,t}) - B_{i,t} + \sum_{i,j=1}^{13} P_{i,t}II_{i,j,t}$$

El productor

Cada uno de los bienes es producido en una industria que actúa en un ambiente de competencia perfecta y produce un bien por medio del empleo de productos intermedios y factores. Se supone que los productores minimizan los costos sujetos a un nivel de producción dada, para alcanzar este nivel de producción, se cuenta con una tecnología que puede ser representada por medio de una función Cobb-Douglas.

Se asume también que cada mercancía compuesta (nacional e internacional) es una función CES de los bienes producidos en el extranjero ($M_{i,t}$) y de las nacionales ($D_{i,t}$), en el tiempo t

$$\chi_{i,t} = \bar{\chi}_{i,t} \left[\mu_i (D_{i,t})^{1-\frac{1}{\rho_i}} + (1 - \mu_i) (M_{i,t})^{1-\frac{1}{\rho_i}} \right]^{\frac{\rho_i}{\rho_i-1}} \quad i = 1,2,3,4, \dots, 13$$

Donde ρ_i es la elasticidad de sustitución del bien nacional i y del bien importado i ; $\bar{\chi}_i$ y μ son parámetros.

A partir de lo anterior, el consumidor obtiene la composición óptima del bien compuesto al resolver un problema de minimización del costo del bien compuesto sujeto a la función que representa:

$$\begin{aligned} & \text{Min } P_{i,t}^d D_{i,t} + P_{i,t}^m M_{i,t} \\ & \text{s. a. } \chi_{i,t} = \bar{\chi}_{i,t} \left[\mu_i (D_{i,t})^{1-\frac{1}{\rho_i}} + (1 - \mu_i) (M_{i,t})^{1-\frac{1}{\rho_i}} \right]^{\frac{\rho_i}{\rho_i-1}} \end{aligned}$$

De lo anterior se obtiene la proporción equivalente del bien domestico dentro del bien compuesto:

$$U D_{i,t} = \frac{1}{\chi_{i,t}} \left(\frac{P_{i,t}^d}{\mu_i} \right)^{-\rho_i} \left[(P_{i,t}^d)^{1-\rho_i} \mu_i^{\rho_i} + (P_{i,t}^m)^{1-\rho_i} (1 - \mu_i)^{\rho_i} \right]^{\frac{\rho_i}{\rho_i-1}}$$

Asimismo, los precios de los bienes compuestos están dados por los precios de los bienes domésticos, los precios de bienes importados y los aranceles. Los precios son obtenidos mediante la minimización del costo del bien compuesto.

$$P_{i,t} = \left(\frac{1}{\chi_{i,t}} \right) \left[(P_{i,t}^d)^{1-\rho_i} \mu_i^{\rho_i} + (P_{i,t}^m)^{1-\rho_i} (1 - \mu_i)^{\rho_i} \right]^{\frac{1}{\rho_i}}$$

$$P_{i,t}^m \text{ satisfacen: } P_{i,t}^m = \overline{PM}_{i,t} TC (1 + t_{i,t}^m)$$

$$P_{i,t} = f(P_{i,t}^d, P_{i,t}^m)$$

Donde $t_{i,t}^m$ representa el arancel del bien importado, \overline{PM} el precio internacional del bien i en el tiempo t , y TC el tipo de cambio.

Las importaciones y exportaciones

La oferta de importaciones es perfectamente inelástica, con el supuesto de que la economía no puede alterar los precios internacionales y puede comprar todos los bienes importados que requiera; la demanda del resto del mundo por las exportaciones depende del precio del bien exportado relativo a algún nivel de precio mundial. Las exportaciones del bien i producido nacionalmente están dadas por:

$$E_{i,t} = \bar{E}_{i,t} \left(\frac{\overline{PE}_{i,t}}{P_{i,t}^d / TC} \right)^{\eta_i}$$

Donde $\bar{E}_{i,t}$ es el valor de las exportaciones si el precio nacional en moneda extranjera ($P_{i,t}^d/TC$) coincide con el internacional ($\overline{PE}_{i,t}$); η_i es la elasticidad de la demanda de exportaciones del bien i en el tiempo t .

La inversión

La cantidad total de la inversión es exógena. Así la inversión del sector i se da en proporciones fijas por lo que la ecuación que la define es:

$$Z_{i,t} = \lambda_i \frac{\overline{INV}_t}{P_{i,t}}$$

donde λ_i representa la fracción que representa la cantidad invertida en el sector i respecto a la inversión total \overline{INV} , que está representado por el capital en el tiempo t , lo que debe ser igual a la suma del ahorro: público, privado y exterior.

$$\overline{INV}_t = s_{g,t} + \sum_{h=1}^2 s_{p,t}^h + s_{e,t}$$

Gobierno

El gobierno gasta una cantidad fija en cada bien compuesto existente, por lo tanto, el gasto de gobierno se expresa en ($\bar{G}_{i,t}$), y el ingreso del gobierno está dado por:

$$G_{i,t} = \bar{G}_{i,t}$$

Donde $i=1, 2, 3, \dots, 13$

$$I_{g,t} = \sum_{i=1}^{13} \tau_i (w_t \bar{L}_{i,t} + r_t \bar{K}_{i,t}) + \sum_{h=1}^2 \tau_d (w_t L_t^h + r_t K_t^h) + \sum_{i=1}^{13} \overline{PM}_{i,t} TC \tau_i^m M_{i,t}$$

Por lo tanto, el ahorro público está dado por:

$$S_{g,t} = I_{g,t} - \sum_{i=1}^{13} B_i - \sum_{i=1}^{13} P_{i,t} \overline{G}_{i,t}$$

Donde el ahorro del gobierno depende de los ingresos menos los subsidios (B_i) y el gasto que tiene en bienes y servicios; cada uno en el tiempo t .

Definición de equilibrio

En equilibrio, las cantidades ofrecidas han de ser iguales a las demandadas en todos los mercados de bienes y servicios en cada t . Se considera el pleno empleo de los factores primarios trabajo y capital en cada t . Además, los niveles de actividad del gobierno y de los sectores exteriores serán fijos.

Un equilibrio competitivo está formado por:

- Un vector de precios:

$$P_{i,t}, P_{i,t}^d, P_{i,t}^m, TC, w_t, r_t, P_{i,t}^{rm}$$

- Un vector de cantidades:

$$\chi_{i,t}, Y_{i,t}, L_{i,t}, K_{i,t}, VA_{i,t}, I_{g,t}, \overline{I}_{d,t}^h, G_{i,t}, \overline{\Pi}_{j,t}, \\ \overline{C}_{i,t}^h, Z_{i,t}, D_{i,t}, E_{i,t}, M_{i,t}, \overline{UD}_{i,t}, s_{p,t}^h, s_{g,t}, s_{e,t}, B_i,$$

Dónde:

$$i \text{ y } j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13$$

$$h = 1, 2$$

$$t = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15$$

- Demanda de cantidades del consumidor:

$$\bar{C}_{i,t}^{-h} = \alpha^h \frac{(1 - S_t^h) I_{d,t}^h}{\bar{P}_{i,t} (1 - q)}$$

Dónde:

$$\sum_{i,t}^h \alpha = 1$$

$$i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13$$

$$h = 1, 2$$

Los precios están dados por:

$$P_{i,t} = \left(\frac{1}{\lambda_{i,t}} \right) \left[(\bar{P}_{i,t}^d)^{1-\rho_i} \mu_i^{\rho_i} + (\bar{P}_{i,t}^m)^{1-\rho_i} (1 - \mu_i)^{\rho_i} \right]^{1-\frac{1}{\rho_i}}$$

$$\text{Dónde: } P_{i,t}^m = PM_{i,t} * TC * (1 + \tau_{i,t}^m)$$

El ingreso disponible ($I_{d,t}^h$), y el ahorro del consumidor (s_t^h), están dados por:

$$I_{d,t}^h = (1 - \tau_{d,t}^h) (w_t \bar{L}_t^h + r_t \bar{K}_t^h)$$

$$S_{p,t}^h = s_t^h * I_{d,t}^h$$

- Las cantidades demandadas de los factores en el tiempo 0 satisfacen:

$$L_i = \left(\frac{VA_{i,t}}{A_i} \right) \left(\frac{\beta}{1 - \beta} \frac{r}{w} \right)^{1-\beta}$$

$$K_i = \left(\frac{VA_i}{A_i} \right) \left(\frac{1 - \beta}{\beta} \frac{w}{r} \right)^\beta$$

Donde

$$i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13$$

- Las cantidades demandadas de capital en el tiempo "t" satisfacen:

$$K_{i,t+1} = (1 - q)K_t + Z_{i,t}$$

- La demanda de valor agregado satisface:

$$\overline{VA}_{i,t} = \alpha_{VA_{i,t}} Y_{i,t}$$

Donde

$$i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13$$

$$t = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15$$

- Las demandas de los insumos están dadas por:

$$\overline{II}_{i,j,t} = a_{i,j,t} Y_{i,t}$$

Donde:

$$i \text{ y } j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13$$

- Competencia perfecta, ganancias iguales a cero:

$$P_{i,t}^d Y_{i,t} = (1 + \tau_{i,t})(w_t L_{i,t} + r_t K_{i,t}) - B_{i,t} + P_{1,t} II_{1,i,t} + P_{2,t} II_{2,i,t} + P_{3,t} II_{3,i,t} + \dots + P_{13,t} II_{13,i}$$

Donde

$$i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13$$

- Del gobierno las cantidades demandadas son:

$$G_{i,t} = \overline{G}_{i,t}$$

Donde

$$i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13$$

- El ingreso del gobierno está dado por:

$$I_{g,t} = \sum_{i=1}^{13} \tau_{i,t} (w_t L_{i,t} + r_t K_{i,t}) + \sum_{h=1}^2 \tau_{d,t} (w_t \overline{L}_t^h + r_t \overline{K}_t^h) + \sum_{i=1}^{13} \overline{PM}_{i,t} TC_{i,t}^m M_{i,t}$$

- Por lo tanto, el ahorro público está dado por:

$$S_{g,t} = I_{g,t} - \sum_{i=1}^{13} B_i - \sum_{i=1}^{13} P_{i,t} \overline{G_{i,t}}$$

- La inversión por sector de origen está dada por:

$$INV_t = \frac{K_t - (1 - q)K_t}{Z_{i,t}}$$

- El ahorro del consumidor h está dado por:

$$S_{p,t}^h = s_t^h * I_{d,t}^h (1 - q)$$

- La identidad ahorro - inversión:

$$\overline{INV}_t = \sum_{h=1}^2 s_t^h + S_{g,t} + S_{e,t}$$

- Las exportaciones del bien i satisfacen:

$$\overline{E}_{i,t} = \overline{\varepsilon}_{i,t} \left(\frac{\overline{P}E_{i,t}}{P_{i,t}^d / TC} \right)^{\eta_i}$$

- La demanda por importaciones está en función de:

$$\overline{M}_{i,t} = \frac{\overline{P}_{i,t} (\sum_{j=1}^{13} \overline{I}_{j,t} + \sum_{h=1}^2 C_{i,t}^h + G_{i,t} + Z_{i,t}) - \overline{P}_{i,t}^d (\overline{D}_{i,t})}{P_{i,t}^m}$$

El ahorro externo está determinado por el déficit comercial:

$$\overline{S}_{e,t} = \sum_{i=1}^{13} P_{i,t}^m TC M_{i,t} - \sum_{i=1}^{13} P_{i,t}^d E_{i,t}$$

- La demanda interna por el bien domestico i se representa:

$$\overline{D}_{i,t} = UD_{i,t} \left(\sum_{j=1}^{13} \overline{\Pi}_{i,j,t} + \sum_{h=1}^2 C_{i,t}^h + G_{i,t} + Z_{i,t} \right)$$

Dónde:

$$\overline{UD}_{i,t} = \frac{1}{\overline{\chi}_{i,t}} \left(\frac{\overline{P}_{i,t}^d}{\mu_i} \right)^{-\rho_i} \left[(\overline{P}_{i,t}^d)^{1-\rho_i} \mu_i^{\rho_i} + (\overline{P}_{i,t}^d)^{1-\rho_i} (1 - \mu_i)^{\rho_i} \right]^{\frac{\rho_i}{\rho_i-1}}$$

- Los mercados de bienes están en equilibrio:

$$D_{i,t} + E_{i,t} = \overline{Y}_{i,t}$$

Donde $i=1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13$

- Los mercados de factores están en equilibrio:

$$\sum_{h=1}^2 L_t^h = \sum_{i=1}^{13} L_{i,t}$$

$$\sum_{h=1}^2 K_t^h = \sum_{i=1}^{13} K_{i,t}$$

4.2 Calibración del modelo dinámico

La base para la estimación de los parámetros son las ecuaciones presentadas para el modelo estático. Los parámetros que se cambiaron son aquellos que se modifican en el tiempo, estos se presentan a continuación:

- El valor de α se despeja de la función de demanda:

$$\alpha_{i,t}^h = \frac{P_{i,t} C_{i,t}^h}{I_{d,t}^h}$$

- Los coeficientes a_{VAit} , se obtienen:

$$a_{VAit} = \frac{VA_{i,t}}{Y_{i,t}}$$

- Los coeficientes a_{ijt} se obtienen:

$$a_{ij} = \frac{I_{ij,t}}{Y_{i,t}}$$

- El parámetro $\bar{C}_{i,t}$ se obtiene de la función de bien compuesto, donde queda:

$$\bar{C}_{i,t} = \frac{C_{i,t}}{\left[\mu_i (D_{i,t})^{1-\frac{1}{\rho_i}} + (1-\mu_i) (M_{i,t})^{1-\frac{1}{\rho_i}} \right]^{\frac{\rho_i}{\rho_i-1}}}$$

- El valor de lambda se determina a partir de la ecuación de Inversión:

$$\lambda_{i,t} = \frac{P_{i,t} Z_{i,t}}{INV_t}$$

- Capital en el tiempo cero (t):

$$K_{i,t} = \sum_{i=1}^{13} K_{i,t}$$

- Capital en el tiempo t+1:

$$K_{i,t+1} = Z_{i,t} + (1-\zeta)K_{i,t}$$

- Asignación del nuevo capital a los hogares:

$$K_t^h = \Gamma * K_t$$

- Igualdad del capital entre los sectores productivos y los hogares:

$$\sum_{h=1}^2 K_t^h = \sum_{i=1}^{13} K_{i,t}$$

4.3 Recomendaciones y siguientes pasos

Este informe presenta un modelo de equilibrio general que permite hacer simulaciones para estimar las emisiones de GEI. No obstante, es un modelo perfectible que puede tener una mayor especificidad y alcance si se realizan ajustes en los insumos. Basado en las recomendaciones de los especialistas se presentan a continuación una serie de aspectos que se deben considerar cuando se quiera mejorar el modelo económico.

Sobre los bienes

En este ejercicio se presenta una desagregación a 13 sectores, basado en la clasificación del IPCC, no obstante, se puede desarrollar una desagregación diferente con base en las necesidades identificadas.

El elaborar la MIP y su respectiva Matriz de Contabilidad Social es uno de los procesos más delicados que se tienen, dado que son la base para que el modelo esté en equilibrio; por lo que la recomendación es construir nuevamente una MIP con su respectiva MCS con los nuevos sectores requeridos.

En lo particular, se ha identificado que realizar el proceso semi-automatizado a partir de tablas dinámicas de Excel reduce los errores al mínimo o una documentación de cada una de las agregaciones realizadas en Excel permite poder identificar los errores de una forma más fácil. Algunas de las categorías que se ha identificado importante separar son:

- Residuos, en dos categorías:
 - Capacitación, tratamiento y suministro de agua.
 - Manejo de desechos y servicios de remediación.
- Ganadería:
 - Separar la rama de Silvicultura como un sector independiente.
- Procesos agrícolas:
 - Separar la fabricación de fertilizantes, pesticidas y otros agroquímicos.

Sobre los consumidores

Los consumidores son clave para representar las características de la población del país y capturar las diferencias en la demanda de insumos. En este ejercicio se utilizó únicamente dos consumidores tipo rural y urbano. No obstante, es importante realizar una mayor desagregación que permita reflejar las diferencias existentes en el país. Dado que

conforme más se desagregue cada elemento el modelo se vuelve más complejo, se debe identificar claramente el alcance de la desagregación para reflejarla en la menor cantidad de consumidores. Algunos ejemplos son:

- Desagregar en seis categorías: rural y urbano para tres regiones del país (sur, centro y norte). Se dividen los estados en las tres regiones y cada una de las regiones cuenta con una población urbana y rural.
- Desagregar en deciles poblacionales: En caso de que se busque analizar los impactos de una política en la población, dividir en deciles poblacionales permite reconocer los efectos de una política sobre todos los deciles igual o sobre ciertos niveles poblacionales.

Gasto de los consumidores

Con la finalidad de ser más específicos en las simulaciones, se debe de caracterizar y diferenciar el gasto que realiza cada uno de los consumidores por insumo. En este ejercicio, únicamente se consideró el gasto total que hacen los hogares rurales y urbanos y se estimó la proporción a la que correspondían, se utilizó la misma proporción para todos los bienes.

Se recomienda que en una segunda etapa se caracterice el gasto que realiza cada uno de los consumidores tipo en los sectores utilizados. Esta información se obtiene a partir de la ENIGH, de forma muy esquemática se deben de seguir los siguientes pasos:

1. Separar la ENIGH de acuerdo con los consumidores tipo.
2. Identificar los gastos por consumidores.
3. Identificar cada categoría de gasto a que sector del modelo corresponde.
4. Hacer una suma de gasto por sector por consumidor.
5. Establecer las proporciones de gasto para cada uno de los consumidores y sectores.

Sobre los productores

Los productores pueden tener ajustes de mejora para las ecuaciones, una condición que se ha identificado como relevante es el cambio tecnológico. Las ecuaciones de producción para un sector de interés pueden incluir modificaciones para que en el experimento de política se cambie la tecnología de producción y se pueda capturar una mayor eficiencia o una mejora en la producción. Algunas de las propuestas de cambio tecnológico que se pueden considerar son:

- Cambio de tecnologías agrícolas, para las actividades silvopastoriles y agroforestales.
- Ganadería dividirla y poder incluir un cambio tecnológico a ganadería intensiva a partir de ganadería extensiva.
- Aunque no es de interés para esta consultoría, se puede incluir cambios tecnológicos en el transporte.

Emisiones de GEI

Las emisiones de GEI para este modelo son fundamentales, por lo que es importante que los valores se actualicen con base en los nuevos inventarios que se generen, en este caso se utilizaron valores de referencia y se estimaron para algunas categorías con base en los datos del Primer BUR de México.

Para estimar los factores de conversión se proponen los siguientes pasos no exhaustivos:

1. Identificar que categorías de emisión corresponden a los sectores que se seleccionaron para el modelo.
2. Presentar una suma agregada de las emisiones acorde a los sectores a utilizar.

3. Identificar el valor bruto de producción correspondiente a cada uno de los sectores
4. Estimar el factor de conversión a emisiones.

4.3.1 Simulación eliminar subsidio -propuesta metodológica-

Para eliminar un subsidio se requieren hacer modificaciones a la especificación del modelo en los componentes de competencia perfecta, ganancias iguales a cero, en la que el valor del subsidio pasa a cero:

$$P_i^d Y_i = (1 + \tau_i)(wL + rK) - B_i + P_1 II_{1i} + P_2 II_{2i} + P_3 II_{3i} + P_4 II_{4i} + \dots + P_n II_{ni}$$

Donde $i = 1, 2, 3, 4, \dots, n$

Y la ecuación del ahorro del gobierno en la que no se gasta ingreso en subsidios, si no que permanece como ahorro del gobierno:

$$s_g = I_g - \sum_{i=1}^n P_i \bar{G}_i$$

5. Conclusiones

El objetivo de este informe fue identificar los enfoques metodológicos más ventajosos para modelar la actividad económica prospectiva del sector USCUS y sus emisiones de GEI y CCVC para robustecer las estimaciones de la línea base de emisiones en México. Para cumplir con lo anterior se partió de un análisis que nos permitió identificar que un modelo de equilibrio general computable es el que mejor nos permite hacer este análisis.

Los modelos desagregados, si bien permiten modelar y hacer proyecciones de acciones específicas dentro del sector, como, por ejemplo, modelar el impacto de hacer una restauración forestal, hacer un cambio tecnológico en el sector maderable, o incrementar la balanza comercial del sector forestal; no alcanzan a reflejar en ellos como se afectan las emisiones en todo el sector USCUS, ni a nivel país, por lo que se descartó el uso de este enfoque. No obstante, se reconoce que desarrollar un modelo de este tipo puede proporcionar insumos importantes que alimentaran otro tipo de modelos.

Los modelos agregados, por su parte, son modelos más generales que no permiten capturar los elementos particulares requeridos para la modelación del sector, ya que están diseñados para describir el funcionamiento de la economía de un país o región ya que trabajan principalmente con cantidades agregadas. Dadas estas características, este tipo de modelos no permiten responder adecuadamente al objetivo que se tiene planteado.

Por lo que, los mejores modelos para desarrollar un modelo que permita analizar las emisiones de GEI y los contaminantes de Vida Corta son los modelos integrados, que vinculan elementos microeconómicos y macroeconómicos y nos permiten tener una visión más integral de la economía. Con base en lo anterior, se seleccionó un modelo de equilibrio general de 13 sectores que modele las emisiones del sector USCUS a través de variables económicas.

El modelo MEGA que se desarrolló en este estudio, tiene como principal ventaja estar aplicado a México, y que agrega las sub ramas de la economía mexicana en las categorías del IPCC, con una desagregación en 8 categorías específicas para el sector AFOLU.

El considerar el sector como AFOLU y no solo USCUS resulta muy relevante,1) a nivel de política nacional se desarrolla el siguiente Reporte de Inventario Nacional con las Directrices del IPCC 2006, lo que permite que este estudio este alineado con el desarrollo de otros instrumentos de política nacional; 2) las actividades del sector forestal ocurren en el territorio, lo que obliga a considerar la importancia de desarrollar un modelo que permita modelar el impacto en otras actividades económicas que están fuertemente vinculadas con el sector USCUS, como lo son la agricultura y la ganadería; 3) el desarrollar esquemas de actividades económicas integradas como un sistema silvopastoril, permitirá contar con una visión integrada que se fortalece a través de la visión de paisaje instaurada en la ENAREDD+.

Por lo que, un aspecto importante a recalcar es desarrollar un modelo que permita trabajar integralmente los sectores USCUS, agrícola y ganadero; donde de acuerdo con necesidades específicas se desarrollen micro modelos que alimenten a través de insumos un modelo de equilibrio general.

Bibliografía

- Araujo-Gutiérrez, Z. (2012). *Reacción de la economía mexicana ante un impuesto ambiental*. Ciudad de México: Editorial Academia Española.
- Araujo-Gutiérrez, Z. M. (2016). *Impacto de Eliminar el subsidio y asignar impuestos a los energéticos para México a través de un modelo de equilibrio general*. Ciudad de México: Tesis de Doctorado.
- Arrow, K. J., & Hahn, F. (1971). *General competitive analysis*. Holland: Horden-Day.
- Arrow, K., & Hahn, F. (1971). *General Competitive Analysis*. San Francisco: Holden-Day.
- Balistreti, E., Mc Daniel, C., & Wong, E. (2002). *An estimation of U.S Industry level capital labor substitution elasticities: Cobb Douglas as a reasonable Starting Point?* Washington D.C. : Research Dicision, Office of Economics US Internationale Trade Comission.
- Banco Mundial. (24 de noviembre de 2017). *México: Panorama General*. Obtenido de El Banco Mundial en México : <http://www.bancomundial.org/es/country/mexico/overview>.
- Chisari, O., Maquieyra, J., & Miller, S. (2012). *Manual sobre Modelos de Equilibrio General Computado para Economías de LAC con Énfasis en el Análisis Económico del Cambio Climático*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- CONAFOR. (2014). *Programa Nacional Forestal (PRONAFOR)*. Guadalajara, Mexico.
- CONAFOR. (25 de Octubre de 2017). *Boletín 77*. Obtenido de CONAFOR: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/7/5752M%C3%A9xico%20cuenta%20con%20270%20mil%20hect%C3%A1reas%20de%20%20Plantaciones%20Forestales%20Comerciales.pdf>.
- CONAFOR. (1 de octubre de 2017). *Comisión Nacional Forestal*. Obtenido de Encuesta Nacional de Beneficiarios de CONAFOR: <http://www.cnf.gob.mx:8090/snif/portal/evaluaciones/encuesta-nacional-de-beneficiarios>.
- CONAFOR. (2017). *Estrategia Nacional REDD+*. Jalisco, México: CONAFOR.
- CONAFOR. (29 de septiembre de 2017). *Inovación Forestal* . Obtenido de Comisión Nacional Forestal. http://www.conafor.gob.mx/innovacion_forestal/?page_id=436.

- Conservación Internacional, et all. (09 de septiembre de 2017). *OSIRIS*. Obtenido de Open Source Impacts of REDD+ incentives spreadsheet: [https://openei.org/wiki/Open_Source_Impacts_of_REDD_Incentives_Spreadsheet_\(OSIRIS\)](https://openei.org/wiki/Open_Source_Impacts_of_REDD_Incentives_Spreadsheet_(OSIRIS)).
- Contreras Hermosilla, A. (2000). *The underlying causes of Forest Decline*. Bogor: Occasional paper, CIFOR.
- De Rus Mendoza, G., & Campos, J. (2003). *Economía del Transporte*. Gran Canaria: Antoni Bosch.
- Diario Oficial de la Federación. (24 de noviembre de 2017). *Programa Nacional Forestal 2014 -2018*. Obtenido de Diario oficial de la Federación: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5342498&fecha=28/04/2014.
- Elizondo, A. (27 de octubre de 2017). *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático*. Obtenido de El mercado de la madera en México : http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgipea/maderas_02_elizondo_study.pdf.
- EPA. (09 de septiembre de 2017). *Environmental Protection Agency*. Obtenido de Global Timber Model (GTM): https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?dirEntryId=198002.
- Esquivel, E. (23 de Septiembre de 2017). Modelación económica del sector USCUS. (Z. Araujo, Entrevistador).
- FAO. (2017). *Análisis de mercados y desarrollo de empresas forestales para el manejo forestal comunitario en la amazonía peruana*. Lima: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral.
- FAO. (21 de Septiembre de 2017). *Documentos de la FAO*. Obtenido de Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina : <http://www.fao.org/docrep/006/j2215s/j2215s04.html>.
- Fernández, J., & Larios, E. (29 de Septiembre de 2017). Modelación económica del sector USCUS. (Z. Araujo, Entrevistador).
- Hernández Laos, E. (2002). *La competitividad industrial en México*. Ciudad de México: Plaza y Valdes editores.
- Hueter, J. (1997). *A Trans-log Approach to Elasticity of Substitution for Agriculture for Mexico*. Ohio: Department of Economics, Ohio University.
- IIASA. (12 de septiembre de 2017). *Globiom.org*. Obtenido de <http://www.iiasa.ac.at/web/home/research/researchPrograms/EcosystemsServicesandManagement/GLOBIOM.html>.

- IIASA. (14 de septiembre de 2017). *The Global Forest Model (G4M)*. Obtenido de <http://www.iiasa.ac.at/web/home/research/modelsData/G4M.en.html>
- IMCO. (16 de octubre de 2017). *Sin tala regulatoria... tala ilegal de árboles*. Obtenido de IMCO: http://imco.org.mx/articulo_es/sin-tala-regulatoria-tala-ilegal-de-arboles/
- INECC & SEMARNAT. (2015). *Primer Informe de Actualización Ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Ciudad de México: INECC/SEMARNAT.
- INECC. (22 de noviembre de 2017). *Tabla de resultados INEGYCEI 2013*. Ciudad de México, Ciudad de México, Mexico .
- INECC, SEMARNAT. (2015). *Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático*. Ciudad de Mexico: INECC/SEMARNAT.
- INEGI. (2013). *Sistema de Cuentas Nacionales de México. Cuadros de Oferta y Utilización* . Aguascalientes, México: INEGI.
- INEGI. (03 de noviembre de 2017). *Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares* . Obtenido de INEGI : <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/enchogares/regulares/enigh/nc/2016/>
- INEGI. (2 de Noviembre de 2017). *Matriz de Insumo Producto 2012 Actualización*. Obtenido de PIB y Cuentas Nacionales, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/mip12/default.aspx>
- INEGI. (3 de noviembre de 2017). *Producto Interno Bruto a Precios Corrientes*. Obtenido de Informe trimestral de Indicadores económicos de coyuntura: http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/notasinformativas/2017/pib_precr/pib_precr2017_08.pdf
- IPCC. (1996). *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero-version revisada en 1996*. Francia.
- IPCC. (23 de Marzo de 2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Obtenido de Task Force on National Greenhouse Gas Inventories: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_12_Ch12_HWP.pdf
- IPCC. (28 de octubre de 2017). *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. Obtenido de Task Force on National Greenhouse Gas Inventories: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_languages.html

- Jonson, T., Alatorre, C., Romo, Z., & Liu, F. (2012). *México: Estudio sobre la disminución de emisiones de carbono*. Colombia: Banco Mundial y Mayol Ediciones S.A.
- Linder, M., Sohngen, B., & Joyce, L. (2002). Integrated forestry assessments for climate change impacts. *Forest Ecology and Management, Vol 162, Num 1* , 117-136.
- López, A. (2012). *Deforestación en México: Un análisis preliminar*. México: Número 527, CIDE.
- Moreno Islas, L. (2010). *Los Costos del Programa Especial de Cambio Climático en México: Un Análisis de Equilibrio General*. Puebla, México: Universidad de las Américas Puebla, Tesis de Licenciatura.
- Muñoz Piña, C., Alarcon, G., Fernandez, J., & Jaramillo, L. (18 de septiembre de 2017). *Pixel Patterns of Deforestation in Mexico*. Obtenido de Instituto Nacional de Ecología: http://www.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/approach_def.pdf
- Nicholson, W. (1997). *Teoría Microeconómica: principios básicos y aplicaciones*. España: Thomson.
- O´Rayan, R , & del Valle, A. (2000). *Ensayo sobre equilibrio general computable: Teoría y aplicaciones; Documento de trabajo, Serie Economía No. 73, CEA-DII, . Chile: Universidad de Chile*.
- Pérez-Mendoza, A. (2008). Introducción al uso de modelos aplicados de equilibrio general. *Economía: teoría y práctica, Nueva época, 119-146*.
- Pérez-Mendoza, A. (2008). Introducción al uso de modelos aplicados de equilibrio general . *Economía: teoría y práctica, Nueva época, número 29, 119-146*.
- Portillo, F. (25 de octubre de 2017). *SAREE, UNAM*. Obtenido de Introducción a la econometría: http://www.saree.com.mx/unam/sites/default/files/INTRODUCCION_ECONOMETRIA.pdf
- RAN. (23 de 09 de 2017). *Registro Nacional Agrario*. Obtenido de <http://datos.ran.gob.mx/conjuntoDatosPublico.php>
- Ruiz Nápoles, P. (2011). Estimación de los costos relativos de las emisiones de gases de efecto invernadero en las Ramas de la Economía Mexicana. *El Trimestre Económico, Vol LXXVIII (1), Num. 309* , 173-191.
- Ruiz Nápoles, P. (2011). Estimación de los costos relativos de las emisiones de gases de efecto invernadero en las ramas económicas de la economía mexicana. *El trimestre económico, Vol LXXVIII, num 309, 173-191*.

- Ruiz Nápoles, P. (2014b). Políticas de mitigación del cambio climático en México: un análisis de insumo producto. *Revista Internacional de Estadística y Geografía*. Vol 5, Número 1, 16- 31 pag.
- Salgado , H., & Bernal, L. (2007). *Translog Cost Functions: An Application for Mexican Manufacturing in Mexico*. Ciudad de México: Documentos de Investigación, Banco de México.
- SCIAN. (10 de noviembre de 2017). *Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte*. Obtenido de Descripción metodológica: [www.inegi.org.mx/sistemas/scian/contenidos/SCIAN%20M%C3%A9xico%202007%20\(26enero2009\).pdf](http://www.inegi.org.mx/sistemas/scian/contenidos/SCIAN%20M%C3%A9xico%202007%20(26enero2009).pdf)
- SEMARNAT. (10 de octubre de 2017). *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales*. Obtenido de Edición 2012: http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Informe_2012.pdf
- SEMARNAT. (octubre de 14 de 2017b). *Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2015*. Obtenido de SEMARNAT: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/181383/ANUARIO_FORESTAL_2015.pdf
- SHCP. (1999). *Elasticidades de sustitución de los principales productos de la economía Mexicana*. Ciudad de México: Cuadernos de trabajo.
- Sokolov, A., Schlosser, C., Dutkiewicz, S., & et., a. (2005). *The MIT Integrated Global System Model (IGSM)*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.
- Sturtevant, B., Fall, A., Kneeshaw, D., Papaik, M., & et , a. (2007). A toolkit Modeling Approach for Sustainable Forest Management Planning: Achieving Balance between Science and Local NEEDS. *Ecology and Society*, Vol. 12 Num 2, 232-243.
- Tavoni, M., & Bosetti, V. (2007). *Forestry and the Carbon Market Response to Stabilize Climate Change*. Italia: Fundación Enrico Mattei.
- Torres , J. (2011). *Introducción al Equilibrio General Dinámico Macroeconómico*. Málaga: Universidad de Málaga.
- Torres Chacón, J. L. (2010). *Aspectos de economía avanzada*. Málaga: Universidad de Málaga.
- Torres, J. (2012). *Introducción al Equilibrio General Dinámico Macroeconómico*. Malaga, España: Universidad de Malaga.
- Turbins, R., Jonsson, R., Wallin, I., & Sallnas, O. (2017). Explication behavioral assumptions in forest scenario modelling the behavioral matrix approach. *Forest Policy and Economics*, 354-365.

Vegara, J. M. (2009). *El cambio climático: análisis y política económica*. La plata : a Caixa.

Watcharaanantapong, P. (2016). *FaFactors influencing greenhouse gas emissions from land use, land use, change, and forest activities*. Estados Unidos : University of Tennessee, Doctoral Disertations.

Anexo I: Matrices descriptivas de modelos

Anexo I.A Matriz descriptiva modelos agregados

Nombre del modelo	MEDEC (basado en Boyd-Ibarrarán)	The global Forest Model (G4M)	GLOBIOM (Global Biosphere Management Model)	Regresiones múltiples y curva de Kuznets	WITCH (World Induced Technical Change Hybrid Model)
¿Quién la desarrolló?	BID, WB con contrapartes Mexicanas SEMARNAT, SHCP, SENER	International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA)	International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA)	Universidad de Tennessee, Knoxville	Fundación Enrico Mattei y la Universidad de Ohio en su departamento de Economía.
Año	2009	2012	2017	2016	2007
País	México	Unión Europea principalmente.	Tiene cobertura global. Dos países Brasil y Estados Unidos	Estudios de caso global y uno localizado en Tailandia	Estados Unidos

Nombre del modelo	MEDEC (basado en Boyd-Ibarrarán)	The global Forest Model (G4M)	GLOBIOM (Global Biosphere Management Model)	Regresiones múltiples y curva de Kuznets	WITCH (World Induced Technical Change Hybrid Model)
Breve explicación del modelo	<p>Es un estudio que utiliza modelos con enfoque agregado para identificar las mejores acciones para realizar en México. Dado el sector forestal como referente, las actividades que se realizan son: identificar y evaluar intervenciones de mitigación dentro de los subsectores agrícola, ganadero, forestal y de bioenergético. Seleccionar las que cumplen con los criterios de reducción de emisiones, cuestan menos de 25 dólares por tonelada de CO₂e y se consideraron factibles de llevar a cabo, con base en los programas existentes y programas pilotos realizados en México y en otros países. El potencial para todas las intervenciones en el sector agrícola y forestal fue evaluado por medio de un sistema de información geográfica que incluía las principales características del territorio de México, un análisis costo beneficio. Todas las intervenciones cumplen con las reglamentaciones establecidas para el uso del suelo, como la reserva de áreas para conservación, y evitan la competencia entre la producción de alimentos y la bioenergía.</p>	<p>Para modelar el crecimiento del bosque, el G4M toma un mapa de producción primaria neta estática (PPN) y lo cambia a un modelo dinámico de PPN para mostrar cómo las tasas de crecimiento se ven afectadas por cambios en las concentraciones de temperatura, precipitación, radiación o CO₂. G4M utiliza información de otros modelos o bases de datos para producir pronósticos de cambio de uso de la tierra, secuestro de carbono y / o emisiones en bosques, impactos de incentivos de carbono (por ejemplo, deforestación evitada) y suministro de biomasa para bioenergía y madera. El modelo puede incorporar muchos factores o necesidades, por ejemplo, la necesidad de proveer seguridad alimentaria, entender los patrones futuros de urbanización y medir cómo los incendios forestales o los insectos pueden afectar la productividad del bosque.</p>	<p>Toma como premisa básica que la producción de alimentos, fibra forestal y bioenergía debe analizarse y planificarse de manera integrada entre los sectores de agricultura, silvicultura y bioenergía. GLOBIOM puede ser usado para explorar los diversos trade-offs y sinergias alrededor del uso del suelo y los servicios de los ecosistemas. Está enfocado en funcionar como una herramienta para la toma de decisiones que permita comprender los recursos a través de un pensamiento holístico.</p>	<p>Se basa en las Curvas de Kuznets (U invertida), para explicar la relación entre población y medio ambiente -en general-, se estudia la degradación ambiental en específico para el sector USCUS a partir de características sociodemográficas.</p>	<p>Es un modelo regional de evaluación integrada estructurada que proporciona información para el desarrollo de normativas óptimas económicas para el tema de cambio climático y daño climático. Es un híbrido porque combina características de modelado de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba: el componente de arriba hacia abajo consiste en un modelo de crecimiento óptimo Inter temporal en el que el aporte energético de la producción agregada se ha ampliado para dar una descripción ascendente como del sector de la energía. (Para nosotros es un modelo macro, dado que no detalla internamente ningún sector ni tampoco hogares o consumidores).</p>

Nombre del modelo	MEDEC (basado en Boyd-Ibarrarán)	The global Forest Model (G4M)	GLOBIOM (Global Biosphere Management Model)	Regresiones múltiples y curva de Kuznets	WITCH (World Induced Technical Change Hybrid Model)
Función del modelo	<p>El costo efectividad se define como el valor presente (en 2008) del beneficio neto que se alcanza por reducir (evitar) una tonelada de emisiones de CO₂ equivalente (\$/tCO₂e) al realizar una opción particular. Para cada intervención, se suman las reducciones anuales de emisiones (en \$/tCO₂e) para calcular la reducción total de emisiones y el flujo de costos o beneficios netos anuales se actualiza al 10% anual para llegar al valor presente del costo o beneficio neto. Luego se calcula el coeficiente de costo efectividad dividiendo el primer monto por el segundo. El análisis económico comprende solamente los primeros dos pasos de la secuencia de cinco. Debido a la importancia de los beneficios ambientales en sus respectivos sectores, el equipo del sector transporte y el del sector electricidad intentaron completar los cinco pasos como un cálculo secundario, sin incluir estos co beneficios en el cálculo del costo por tonelada de CO₂ e mitigada.</p>	<p>El modelo G4M de IIASA compara los ingresos derivados de los bosques con los ingresos que podrían derivarse de un uso alternativo de la misma tierra, por ejemplo, para cultivar granos para alimentos o biocombustibles. Para ello, G4M estima la cantidad de ingreso neto que actualmente se obtiene de los bosques al calcular la cantidad y el valor de la madera producida menos los costos de recolección (es decir, tala y extracción de madera). También evalúa el ingreso potencial que representa el almacenamiento de carbono en los bosques (secuestro). Con base en estos valores, G4M demuestra si sería más rentable cultivar cultivos agrícolas o biocombustibles en el lugar, o si la silvicultura es la mejor opción para la tierra.</p>	<p>Es un modelo de equilibrio global, recursivamente dinámico y parcial. Integra los sectores agrícola, bioenergético y forestal y se basa en datos socioeconómicos y geoespaciales completos. Representa los 18 cultivos más importantes a nivel mundial, una serie de actividades de producción ganadera, productos forestales, bioenergía de primera y segunda generación y agua. La producción es espacialmente explícita y tiene en cuenta la tierra, la gestión y las características meteorológicas.</p>	<p>Se basa en diferentes regresiones, y análisis de datos, como el modelo de efectos fijos y aleatorios para evaluar los contaminantes como variables dependientes, y como independiente los gases de efecto invernadero. En este marco se hicieron pruebas para evaluar la multicolinealidad, heteroscedasticidad y correlación serial.</p>	<p>El modelo permite una caracterización de la demanda de energía del futuro y escenarios tecnológicos y una evaluación de su compatibilidad con el objetivo de estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero. También, considera precios de los combustibles (petróleo, carbón, gas natural, uranio), así como el coste de almacenar el CO₂ capturado, el modelo puede utilizarse para evaluar la implicación de las políticas de mitigación en el sistema de energía en todos sus componentes.</p>
Enfoque de modelación	<p>El estudio utilizó un método de dos partes para determinar los costos (o beneficios) netos de las intervenciones de bajas emisiones. En el primer paso, el análisis se limitó a los costos y beneficios financieros y económicos medibles -inversión nueva o evitada, costo</p>	<p>Es un modelo de clúster integrados, toma las bases de un análisis de sistemas complejos con énfasis en tierras, ecosistemas, bosques y su manejo sostenible. Además, en casos requeridos se hace una alimentación por otro tipo de modelos.</p>	<p>El modelo permite responder diferentes escenarios: Capacidad para predecir el impacto en el uso de suelo cuando existe demanda futura de alimentos; Identificación de proyección de necesidades de tierras agrícolas y otras presiones del sistema</p>	<p>El modelo empírico de efectos fijos fue especificado para examinar los factores que influyen las emisiones del sector USCUS. La variable dependiente era las emisiones de GEI o</p>	<p>La especificación regional del modelo y la presencia de interacción estratégica entre ellas se miden a través del CO₂, los recursos naturales, agotables, los niveles tecnológicos. Se utiliza una aproximación a la teoría de juego de Nash, donde las estrategias de</p>

Nombre del modelo	MEDEC (basado en Boyd-Ibarrarán)	The global Forest Model (G4M)	GLOBIOM (Global Biosphere Management Model)	Regresiones múltiples y curva de Kuznets	WITCH (World Induced Technical Change Hybrid Model)
	<p>operativo, ahorros tangibles-para todos los actores involucrados.</p> <p>En un segundo paso, se identificaron y evaluaron las externalidades positivas o negativas.</p> <p>El método, similar al que se utiliza en una evaluación financiera y económica del Banco Mundial respecto de un proyecto de inversión, genera resultados como rentabilidad, generación de ingresos y una evaluación de las externalidades sociales y ambientales (tanto positivas como negativas).</p> <p>El análisis cuantitativo de las externalidades ambientales del MEDEC se limitó a los impactos sobre la salud asociados con la reducción de la contaminación del aire a nivel local (principalmente para el transporte, uso doméstico de combustibles y generación de electricidad).</p>		<p>agrícola; Tendencias de deforestación futura, y el impacto de actividades REDD+.</p> <p>En el enfoque de modelación se incluyen tanto variables económicas, sociales y ambientales se incluye reporte de GEI.</p> <p>Se analizan los costos o beneficios relativos de la importación o exportación de servicios; puede evaluar la demanda actual y futura del suministro de agua para riego.</p> <p>El equilibrio del mercado se resuelve maximizando la suma del excedente del productor y del consumidor sujeto a restricciones de recursos, tecnológicas y políticas. El año 2000 como línea de base, GLOBIOM simula cantidades de demanda y suministro, flujos de comercio bilateral y precios de bienes y recursos naturales a intervalos de 10 años hasta 2050. Esto da a los planificadores una base para establecer el futuro uso del suelo y, lo que es importante, para identificar posibles deficiencias en los suministros de alimentos y biomasa.</p>	<p>separadas por gas (4 diferentes ecuaciones), se explicaban a partir de agricultura, empleo en agricultura mujer, empleo en la agricultura hombre, población rural, y total de la población</p>	<p>inversión son optimizadas por las externalidades económicas y ambientales. El sector energía ha sido detallado y permite una caracterización razonable de futuros escenarios energéticos y tecnológicos futuros.</p>
Características sociales	No refleja características sociales, se enfoca en un nivel más general.	No captura características sociales, aunque puede incluirlas a partir de variables indirectas como tipo de producción.	Incluye la maximización de la suma del excedente del productor y del consumidor sujeto a las restricciones de	Se incluye el total de la población, sin embargo, no se distinguen	No se incluyen características de la población.

Nombre del modelo	MEDEC (basado en Boyd-Ibarrarán)	The global Forest Model (G4M)	GLOBIOM (Global Biosphere Management Model)	Regresiones múltiples y curva de Kuznets	WITCH (World Induced Technical Change Hybrid Model)
		autoconsumo, venta, entre otros.	recursos, tecnologías y políticas. Aunque no hacer una caracterización a nivel consumidor.	características específicas, se ve como un todo agregado.	
Características económicas	Se incluyen variables específicas diferenciadas por sector analizado, pero en general se incluyen: Tasa de actualización de costos y externalidades, dólares constantes del año 2005, tasa de crecimiento del PIB, costos (o beneficios) netos: Suma del valor presente neto de la inversión pública nueva, inversión privada nueva, inversión evitada, valor de rescate, costos de energía (incluye solamente los costos de la energía fósil), otros costos de operación y mantenimiento, costos de mano de obra, y costos de tiempo no pagado.	Captura variable económicas sobre precios de productos, costos e insumos, permite una modelación a partir de un modelo de costo de oportunidad. Para los proyectos específicos puede incluir otro tipo de variables económicas.	Se incluyen funciones de producción, precios, interacciones entre mercados, costos de oportunidad	Se utiliza el valor per cápita de la producción de país, el empleo separado por género. No se consideran precios o interrelaciones de mercado.	Se incluyen PIB, crecimiento, inflación, precios para energéticos.
¿Qué variables del sector forestal se ven reflejadas?	Se presenta la integración del sector forestal y agrícola a nivel de producción de biocombustibles, la producción de biomasa para diferentes usos actividades REDD (sin el plus), y plantaciones.	Se presentan variables del uso de suelo a través de imágenes con una resolución 50x50km de malla. Se describen características ecológicas que sirven para caracterizar los bosques.	Se ven reflejadas a partir de las variables de cambio de uso de suelo y el precio de la demanda de los productos.	Se analizan las emisiones del sector forestal, y se tratan de explicar a partir de otras socioeconómicas.	Es un módulo complementario que se integra a partir de un enlace con el modelo WITCH.

Nombre del modelo	MEDEC (basado en Boyd-Ibarrarán)	The global Forest Model (G4M)	GLOBIOM (Global Biosphere Management Model)	Regresiones múltiples y curva de Kuznets	WITCH (World Induced Technical Change Hybrid Model)
Características de aplicabilidad	Es un estudio que se elaboró para México por lo que está calibrado con las variables nacionales. El objetivo que tenía es diferente al propuesto en este estudio, sin embargo, los supuestos para modelar emisiones pueden ser una base sólida.	La información que brinda el modelo puede ser a nivel nacional, regional o internacional. Una aproximación más pequeña puede acarrear mayor incertidumbre. Se utiliza como herramienta de toma de decisiones de los países y tener estimaciones sólidas para conseguir pagos por conservación de bosques, reducción de emisiones de deforestación y degradación forestal. Otro uso que se le puede dar es para estimar escenarios de mitigación, identificar como las necesidades de energía para el crecimiento económico afectan variables como la contaminación por ozono en ciertas ciudades.	Es un modelo que se utiliza para analizar la competencia por el uso de la tierra entre la agricultura, la silvicultura y la bioenergía, que son los principales sectores de producción en tierra. Permite evaluar, a nivel mundial, la producción racional de alimentos, fibra forestal y bioenergía, todo lo cual contribuye al bienestar humano. GLOBIOM puede ser usado para explorar los diversos trade-offs y sinergias alrededor del uso de la tierra y los servicios de los ecosistemas, y ayuda a los científicos y a los elaboradores de política a entender y minimizar el uso de la tierra y la competencia de recursos a través de un pensamiento más holístico	Se puede hacer un análisis país, o un análisis multi país con un enfoque muy similar. Es importante cuáles son las variables que se seleccionan para explicar el modelo, ya que no todas van a ser informativas o relevantes para México por la composición socioeconómica del sector.	Permite un ejemplo claro para acoplar modelos que se desarrollen por diferentes actores para hacer una integración. El modelo de los energéticos puede ser muy útil para modelar las características del país.
Temporalidad	Escenario 22 años (2009 a 2010)	Se puede ajustar la temporalidad de acuerdo al proyecto, se recomienda no mayor a 10 años.	Es un modelo que puede ser estático y dinámico.	Tiene un ajuste de temporalidad de 22 años	Permite seleccionar un periodo de tiempo se hacen modelaciones de 5 años
Aplicabilidad de la temporalidad del modelo	Es un escenario de modelación, que requiere la actualización de variables económicas y de los supuestos. Tiene tasas de intercambio tecnológico e inversión que se construyeron, pero se deberían de actualizar con la nueva información disponible	Aplicable para cualquier serie temporal	La aplicabilidad temporal depende de la línea base que se ponga y las proyecciones de los escenarios.	Se tiene que revisar si son los mismos <i>drivers</i> que mueven las emisiones del sector USCUS el día de hoy.	Se requiere ajustar la ecuación de tecnología y de interdependencia entre los diferentes tipos de energía.

Nombre del modelo	MEDEC (basado en Boyd-Ibarrarán)	The global Forest Model (G4M)	GLOBIOM (Global Biosphere Management Model)	Regresiones múltiples y curva de Kuznets	WITCH (World Induced Technical Change Hybrid Model)
Requerimientos de información	Usa datos nacionales para estimar los costos	Se requiere una buena caracterización del sector forestal, a nivel de precios, oferta, demanda, variables que generan presión en los cambios de uso, tipo de vegetación, rentabilidad del suelo, etc.	Requiere variables económicas como las funciones de demanda y producción, incluye los requerimientos de consumo de los productos y las tecnologías existentes.	Bases de datos temporales sobre las variables que se utilizarán. En el caso de las emisiones de GEI de México son interpolaciones lineales, por lo que habría que evaluar si no tienen efectos cruzados.	Requiere información global detallada de usos de energéticos, combustibles y las relaciones teóricas con el sector forestal.
Requerimientos de software	No especificado	Software propio	No especificado	Software estadístico	GAMS/CONOPT.
Fortalezas del modelo	Es integrado y desarrollado para la económica mexicana	Permite integrarse con otros modelos para tener un mayor potencial en la caracterización de los usos del suelo. Actualización constante el módulo de madera cosechada que está en desarrollo.	El modelo se arma y complementa por bloques, entre los que están: REDD-PAC, IMPACT2C, GLOBALIQ, GEI-Europa, EUCLIMT, Energía, Animal	Tiene una buena base estadística, explica una de las preguntas objetivo de la consultoría que es modelar las emisiones de GEI del sector USCUSS, el problema es identificar las variables que responden esta pregunta para México.	Permite vincular sólidamente el sector forestal con el energético para analizar demandas presentes y futuras de energéticos y biomasa.
Áreas de oportunidad	Incluir el sector forestal a detalle de forma integral y no sólo como un proveedor incluir también las permanencias forestales.	Ver el sistema en un enfoque mucho más integrado, donde la parte social juegue un papel más importante.	Integrar caracterización de población	Identificar si las variables siguen vigentes y si se aplican al contexto mexicano	Hacer una integración de los diferentes sectores.
Aplicabilidad en México	Fue desarrollado para México, con la limitante de no evaluación a impactos.	Los supuestos bajo los que está desarrollado el modelo a nivel de manejo forestal, caracterización de bosques uso y aprovechamiento de la madera son diferentes, y no necesariamente reflejarían la realidad nacional.	Se requeriría adaptar diferentes elementos del modelo, sin embargo, la idea de un trabajo modular puede ser muy interesante para aplicarla en México	Se puede aterrizar de ser un modelo macro a un modelo micro que refleje la realidad nacional para identificar las variables de las que dependen las emisiones de GEI del sector USCUSS.	Es un modelo general que no tiene el objetivo de país, sin embargo, brinda información relevante sobre la integración de modelos.

Nombre del modelo	MEDEC (basado en Boyd-Ibarrarán)	The global Forest Model (G4M)	GLOBIOM (Global Biosphere Management Model)	Regresiones múltiples y curva de Kuznets	WITCH (World Induced Technical Change Hybrid Model)
Similitud con el contexto nacional forestal	El desarrollo del sector forestal está basado en la situación nacional, por lo que es aplicable, sin embargo, se requiere actualizar.	Los bosques en el norte de México tienen un historial de aprovechamiento forestal, que podría ser una base para comparar los modelos.	Interrelación entre sector agrícola, pecuario y forestal. La importancia de seleccionar los cultivos, 4 de ellos son cultivos que generan presiones por tierras forestales en México.	Se cuenta con varios INEGI de donde se podría realizar un enfoque nacional, un caso interesante si se contara con la información suficiente sería hacer el análisis a nivel de estados.	Tienen alcances diferentes.
Diferencias con el modelo nacional forestal	Requiere una actualización al enfoque actual.	Los enfoques, tecnologías, sistemas de ejecución, programas de manejo para aprovechamiento forestal son diferentes. Las ecuaciones se tendrían que ajustar.	Los supuestos del funcionamiento del sistema son completamente diferentes, se deben adecuar los supuestos a la realidad nacional.	No se incluye	Diferentes alcances, el modelo es global.
Bibliografía o vínculo de internet	http://documents.worldbank.org/curated/en/695641468050941688/pdf/524580PUBOSPAN1pmentOMexico1Spanish.pdf	http://www.iiasa.ac.at/web/home/research/modelsData/G4M.en.html	http://www.iiasa.ac.at/web/home/research/researchPrograms/EcosystemsServicesandManagement/GLOBIOM.html	Pattarawan Watcharaanantapong, (2016); Factors influencing greenhouse gas emissions from land use, land use, change, and forest activities; University of Tennessee, Doctoral Dissertations.	http://ageconsearch.umn.edu/record/10263/files/wp070015.pdf?version=1
Tipo de modelo	Macro	Macro	Macro	Macro	Macro
Nombre del archivo	MEDEC2012.PDF	IIASA, 2009	Revisado en la red	Watcharaanantapong, 2016	Tavoni, 2007

Fuente: Elaboración propia.

Anexo I.B Matriz descriptiva modelos desagregados

Modelo	OSIRIS (Open Source Impacts of REDD+ incentives spreadsheet)	Forestry model	Global Timber Model (GTM)	Matriz de comportamiento (BM)	Probit (Índice de deforestación)
¿Quién la desarrollo?	Conservación Internacional (CI), el Centro de Investigación Social y Económica sobre el Medio Ambiente de la Universidad de East Anglia, el Centro de Investigación Woods Hole, Environmental Defence Fund,	Fundación Enrico Mattei y la Universidad de Ohio en su departamento de Economía.	EPA (Environmental Protection Agency)	Swedish University of Agricultural Sciences, Southern Swedish Forest Research Centre, European Commission. (Turbins, R., Jonsson, R., Wallin Ida, Sallnas Ola)	Carlos Muñoz Piña, INECC
Año	2010	2007	2015	2017	2003
País	Esfuerzo integrado que se puede aplicar en diferentes países.	Estados Unidos	Desarrollado para Estados Unidos, pero se puede aplicar en diferentes países.	Suecia	México
Breve explicación del modelo	Analiza la cantidad que se les pagará a los países por diversas iniciativas de REDD para dejar sus bosques intactos, con el cálculo de la cantidad de reducciones. Calcula estos valores en función de las condiciones locales y mundiales del mercado, así como de las normas propuestas para REDD (como las referencias para la reducción de carbono y las normas de elegibilidad de los participantes).	Se basa en el modelo descrito en Sohngen et al., 1999 y utilizada por Sohngen y Mendelsohn, 2003, para analizar el potencial mundial secuestro. Donde se modelan los potenciales del sector forestal para captura de carbono a partir de ecuaciones de uso de los productos	Es un modelo económico que examina a nivel global: el uso de suelo forestal, el manejo forestal, el comercio y las políticas; esto con sus respectivas interrelaciones. El modelo está diseñado para examinar el suministro mundial de madera y su relación con la contabilidad de carbono.	En este modelo se analizan los comportamientos de los propietarios de la tierra para elegir las actividades a desarrollar en los bosques. Se utiliza una matriz de comportamiento para estructurar las diferentes opciones de manejo forestal. Analiza el caso de estudio del sur de Suecia.	El modelo te indica a nivel de pixel cuales son las zonas con mayor riesgo de deforestación considerando diferentes elementos como son: productos, usos de suelo, presión social y económica
Función del modelo	El modelo se base en funciones de costos de oportunidad basadas en las actividades REDD+ que se realicen en una región. A partir de ahí se establecen las bases del	El modelo forestal maximiza el valor actual neto del bienestar con base en la producción de ese sector y las interacciones internas a nivel ecológico y de	Es un modelo de expectativas racionales en el que los agentes anticipan las condiciones futuras. Una implicación de este es que, si la demanda	Se utiliza una especificación de manejo forestal a través de un modelo cualitativo que describe las características de árbol, parcela o tocón que se agregan a nivel	Se integraron tres modelos: (1) un modelo probit dicotómico que analiza solo la diferencia entre la deforestación y la no deforestación, (2) un modelo probit ordenado

Modelo	OSIRIS (Open Source Impacts of REDD+ incentives spreadsheet)	Forestry model	Global Timber Model (GTM)	Matriz de comportamiento (BM)	Probit (Índice de deforestación)
	modelo estimar los pagos que se pueden recibir y ver si estos compensan la situación de los posibles pagos que se pueden recibir.	producción como funciones de costos y demandas de productos.	futura va a aumentar sustancialmente, los agentes económicos pueden prever precios futuros al reducir las cosechas hoy para aumentarlas en el futuro. Del mismo modo, la expectativa de mayores precios futuros se traduce en inversiones hoy.	geográfico relevante (predio, municipio, región). Utiliza un sistema de soporte de decisiones se analiza que características influyen en la toma de decisiones a partir de análisis recursivos en el tiempo.	en el que la degradación es indeterminada antes de la deforestación y regeneración y (3), la tasa de crecimiento natural del bosque un logit multinomial, en el cual las decisiones de degradar y deforestar no son necesariamente impulsadas en la misma dirección de las variables exógenas.
Enfoque de modelación	Es un enfoque de costos de oportunidad y a la vez incluye la modelación de los costos globales de oportunidad. Analiza un mercado específico de precios en los productos del sector y como estos se mueven específicamente bajo las condiciones de un lugar.	El modelo representa los costos mediante la incorporación de una serie de funciones de alquiler de tierras para cada tipo de madera. Incentivos para secuestro de carbono se incorporan en el modelo forestal por el alquiler de carbono. El precio de la reducción de energía es el valor de secuestrar y mantener permanentemente una tonelada de carbono. El valor del alquiler para la celebración de una tonelada de carbono durante un año se determina como el cambio de los valores de alquiler actual y futuro, con un precio consistente de la reducción de emisiones.	El modelo estima las cosechas en los bosques industriales y los bosques inaccesibles, la intensidad en la gestión de los bosques maderables y el establecimiento de plantaciones, todos los componentes importantes tanto del suministro futuro de madera como del flujo de carbono. El modelo también captura las interacciones de los mercados globales, la oferta mundial de madera y la contabilidad de carbono asociada.	Parte de la suposición de que los drivers se pueden estructurar al considerar el TMF en un modelo que distinga entre los diferentes tipos de dueños de bosques, proveyendo los medios para modificar el TMF una forma trazable. Al mismo tiempo, la representación debe ser entendible en términos del número de tipos de poseedores forestales y la complejidad de los sistemas forestales analizados.	Todas las variables se refieren al costo de oportunidad de tierras boscosas y las restricciones e incentivos proporcionados por las regulaciones. Dentro de la rentabilidad relativa pueden encontrarse los costos de la cooperación en bosques de propiedad común y las restricciones de liquidez que enfrentan los propietarios pobres con poco acceso a los mercados de crédito.
Características sociales	No analiza las variables sociales como drivers, pero te permite enfocar variables a las características de un país.	No Incluye datos sociales	No se incluyen	Se consideran las características de los poseedores de la tierra, en su comportamiento y toma de decisiones	Estatus socioeconómico del dueño del bosque o predio, habitantes, índice de marginalidad,

Modelo	OSIRIS (Open Source Impacts of REDD+ incentives spreadsheet)	Forestry model	Global Timber Model (GTM)	Matriz de comportamiento (BM)	Probit (Índice de deforestación)
Características económicas	Se incluyen los costos de manejo, y los costos de llevar a cabo las actividades, aunque el objetivo es identificar los pagos que se pueden recibir debido a actividades para reducir la deforestación y degradación forestal.	Se incluyen valores de costos, de producción y precios del mercado de madera.	Captura las interacciones de los mercados globales, la oferta mundial de madera, y las relaciones de precios.	Se analizan las variables económicas desde el punto de vista de las actividades de manejo forestal.	Insumos, salidas de mercado, precios, demandas de productos.
¿Qué variables del sector forestal se ven reflejadas?	Se caracteriza el sector forestal a detalle ya que el sector que a partir de las condiciones ecológicas es que se producen las reducciones para las que se busca estimar los pagos.	Se incluyen valores de la situación de los bosques, en el nivel de producción que pueden dar, el tipo de madera, los costos de obtención, calidad de madera, usos de suelo y nivel de permanencia en el tiempo.	La producción de madera, tipo de ecosistema, tipo de madera, situación ambiental.	El sector forestal se analiza a través de los programas de manejo forestal: Sistemas de silvicultura considerando edad y cobertura continua, edad de rotación de los cultivos, frecuencia y configuración de aclareos, sistemas de regeneración. Se seleccionaron seis diferentes esquemas de integración de variables para el manejo.	15 categorías de bosques, que se agrupan aquí en dos tipos de bosques: bosques y bosques secos tropicales; y tres tipos de bosques templados, las coníferas, pino/roble y bosques nublosos y bosques templados roble y secos
Características de aplicabilidad	Se puede aplicar al contexto mexicano, ya que se cuenta con información que se ha elaborado en el marco de la IRE, sin embargo, no permite modelar las emisiones del sector con sus interacciones hacia los demás sectores.	El modelo está desarrollado para un sector forestal mucho más tecnificado y con una mayor injerencia en el mercado nacional del país. En México no se cuenta con tanta información del sector a nivel de aprovechamiento forestal.	Se requiere una buena caracterización del sector forestal productivo en el país y detallar esos componentes.	Se puede desarrollar un esquema muy similar que nos permita vincular a los diferentes tipos de poseedores de tierras forestales con los programas o tipos de manejo forestal existentes en México, el problema es que no se cuenta con una caracterización tan detallada a nivel nacional y se tendría que hacer un enfoque regional.	Es un modelo robusto que se ha aplicado en México y que brinda orientaciones para el desarrollo de un modelo integrado del sector.

Modelo	OSIRIS (Open Source Impacts of REDD+ incentives spreadsheet)	Forestry model	Global Timber Model (GTM)	Matriz de comportamiento (BM)	Probit (Índice de deforestación)
Temporalidad	Se puede aplicar una línea temporal con base en los datos de entrada.	Desarrolla el experimento en un momento en el tiempo, pero se puede realizar el experimento cíclicamente.	Resuelve en incrementos de 10 años y las condiciones terminales se imponen después de 180 años.	No especificado	Se puede utilizar para analizar diferentes periodos de tiempo, si se vuelve a calcular el modelo. Es importante reconocer que el modelo sigue vigente y que diferentes instituciones lo siguen utilizando.
Aplicabilidad de la temporalidad del modelo	Es un modelo dinámico de actividades, por lo que se pueden modelar ejemplos específicos.	Se podría aplicar al ejercicio buscado si se realizan simulaciones anuales.	Se requiere detallar una línea base a partir de datos actuales e históricos del sector productivo forestal.	No aplica	Explica la deforestación en México entre 1993-1994 y 2000, en los bosques privados y comunes.
Requerimientos de información	Requiere información local georreferenciada, se requieren insumos del contenido de carbono de los stocks, precios y fluctuaciones de los mercados de carbono.	Requiere información del sector productivo forestal detallado.	Bases de datos estandarizadas, información sobre aprovechamiento forestal, demanda de productos forestales, tecnologías utilizadas y variables que permitan armar las ecuaciones del comportamiento de las diferentes variables.	Se requiere una tipología clara de los tipos de poseedores forestales, con sus diferentes tipos de vegetación, aprovechamiento y manejo realizado en sus bosques. Está caracterización no existe para México a nivel nacional.	Las fuentes de los datos son los inventarios forestales nacionales de 1993 y 2000, el Ejido Censo de 1990 y la base de datos de registro de propiedad privada de 1990-1992. El nacional Interpretación del inventario forestal por INE3 se utiliza para identificar los cambios de uso de tierra en México.
Requerimientos de software	Hoja de Excel, es un software gratuito	No especificado	GAMS y Windows como sistema operativo.	No especificado	Software estadístico
Fortalezas del modelo	Se pueden definir diferentes valores utilizados para calcular pagos de REDD+, niveles de emisión de carbono o tasas de deforestación de acuerdo a las necesidades del modelo que se va a desarrollar. Se pueden desarrollar diferentes escenarios de mercado que pueden compararse fácilmente ya que cuentan con un modelo sólido	Este modelo provee el aprovechamiento del uso de suelo, y los tipos de madera que se producen. Permite un buen análisis micro del sector productivo. Además, permite vincularse con el modelo macro WITCH	Permite entender la dinámica de la producción maderable en el país.	El modelo permite hacer una caracterización de los poseedores de tierras forestales, y entender mejor su toma de decisiones, esto puede ser muy útil para complementar un modelo integrado, incluyendo un módulo específico para este componente.	Existen 2 fortalezas al generar pixeles para la aplicación del modelo probar: la primera es para reducir el tiempo de computado necesarios para calcular que el recorrido del costo en las variables relacionadas. La segunda razón es para reducir el efecto de cualquier término de error espacial correlacionado.

Modelo	OSIRIS (Open Source Impacts of REDD+ incentives spreadsheet) estadístico.	Forestry model	Global Timber Model (GTM)	Matriz de comportamiento (BM)	Probit (Índice de deforestación)
Áreas de oportunidad	Sería muy útil incluir variables sociales, dado que, en México, la población rural tiene condiciones diferentes y el acceso a los pagos de mercados de carbono puede generar importantes cambios en las condiciones de vida de las personas.	Se debería incluir la presión agrícola como un elemento combinado del sector.	Es un modelo específico que te modela las interacciones de un sector específico, no te captura interacciones externas.	Es un modelo sumamente específico donde su integración con un modelo sectorial o un modelo macro daría información muy útil para entender interacciones de la población rural.	Inclusión de otras variables debido a su falta de disponibilidad en el nivel de censo. Entre los más importantes: la distribución de bienes dentro de la comunidad y el número de miembros de hogares tienen acceso a recursos forestales o la posibilidad de invadir. Esto se puede complementar con la encuesta nacional de beneficiarios de CONAFOR.
Aplicabilidad en México	Hay viabilidad de aplicación puesto que las condiciones de REDD+ en México están avanzadas. El vínculo está roto hacia la herramienta	Es un modelo que no responde la pregunta de investigación de este estudio, sin embargo, en conjunto con otro modelo podría ser útil.	Se requiere una buena caracterización del sector forestal, Alejandra Elizondo realizó un estudio de caracterización de la producción de madera.	No se cuenta con información nacional detallada, sin embargo, se podría caracterizar un sector de la población.	Modelo aplicado en México para las regiones de bosques, con la finalidad de obtener proyecciones de cambio de uso de suelo,
Similitud con el contexto nacional forestal	Se utilizan datos locales, por lo que es aplicable a México.	Pudiera aplicarse en el aprovechamiento de bosque, con un ajuste para tener datos más concretos	Se debe de evaluar la viabilidad por que la balanza comercial del sector forestal en México es sumamente pequeña, por lo que internamente puede ser relevante en el norte del país y no como un agregado nacional.	Hay diferentes esquemas de tenencia de la tierra, y también diferentes esquemas de manejo forestal, por lo que técnicamente el análisis podría ser viable, si se contara con la información.	Se basó en el contexto nacional por lo que es aplicable.
Diferencias con el modelo nacional forestal	El modelo se alimenta con datos nacionales, y se puede detallar el contexto mexicano parcialmente.	El nivel de tecnificación del funcionamiento de la madera.	No se podría tener una representatividad nacional.	No aplica	En el caso de que haya nueva información sobre drivers de deforestación mucho más actual se deberían de incluir.
Bibliografía o vínculo de internet	https://openi.org/wiki/Open_Source_Impacts_of_REDD_Incentives_Spreadsheet_(OSIRIS)	http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/10263/1/wp070015.pdf	https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?dirEntryId=198002	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389934116303963	http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgipea/approach_def.pdf

Anexo I.C Matriz descriptiva modelos integrados

Modelo	MEGC	<i>Integrated Global System Model</i>	Modelo de equilibrio general computable MEGA	<i>Toolkit</i> de SMF	<i>Integrated forestry assesments</i> (IA)	Modelo General de Equilibrio Computable Boyd-M
¿Quién la desarrollo?	BID	Massachusetts Institute of Technology	ITESM, CCM. Zuelclady Araujo Gutiérrez	Universidad de Quebec en Montreal, Departamento de Recursos Naturales de Terranova y Labrador, Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue, Ministerio de Bosques de Columbia Británica	Potsdam Institute for Climate Impact Research, Ohio State University, USDA Forest Service (Marcus Linder, Brente Sohngen, Linda A. Joyce, Timo Karjalainen y Pierre T. Bernier)	Modelo Boyd. Ibarrán. Aplicación de Lizzeth Moreno Islas
Año	2012	2005	2016	2007	2002	2012
País	Argentina, Chile, Brasil, Perú, El Salvador y Jamaica	Regiones de América Latina, Asia, Europa.	México	Canadá	Alemania	México
Breve explicación del modelo	Es un modelo de equilibrio general dinámico recursivo, que toma en cuenta el funcionamiento de los precios relativos y de los cambios en la estructura de la economía, así como del impacto de shocks y políticas sobre el bienestar de los niveles de ingreso.	El Modelo Integrado del Sistema Global (IGSM) del MIT está diseñado para analizar los cambios que pueden derivarse de causas antropogénicas, cuantificando las incertidumbres asociadas, los cambios proyectados y la evaluación de los costos y la eficacia ambiental de las políticas propuestas para el riesgo climático.	Es un modelo de equilibrio general computable que analiza la reacción de la economía mexicana si se eliminan los subsidios a los energéticos. Se simula toda la economía mexicana a través de 18 sectores seleccionados.	En resumen, es un proceso que inserta un enfoque meta-modular en un marco de modelado colaborativo que se centra en la planificación local de necesidades. Se ilustra el proceso de aplicación a un caso estudio en Labrador, una zona dominada por bosques vírgenes que actualmente es administrado por una asociación cooperativa de gobierno.	Presenta las diferentes opciones que existen para ligar diferentes modelos "temáticos", como vinculas el componente climático (entendido como factores bio -geo -químicos), ecológica (como insumos de producción) con elementos de mercado (variables económicas) y las ventajas y desventajas de los tipos de aproximación.	Modelo con el objetivo de analizar el impacto que tienen las políticas de mitigación del Gobierno Mexicano a través del PECC, simulando interacciones entre la economía y retroalimentación entre sectores. Es un modelo exclusivo y desarrollado para México. Después de la recolección de información necesaria el modelo selecciona de forma funcional las funciones de producción y utilidad

Modelo	MEGC	<i>Integrated Global System Model</i>	Modelo de equilibrio general computable MEGA	<i>Toolkit de SMF</i>	<i>Integrated forestry assesments (IA)</i>	Modelo General de Equilibrio Computable Boyd-M
Función del modelo	<p>Evaluar shocks de Cambio Climático sobre la salud de la población, la productividad del trabajo, disminución del stock de capital de infraestructura, o de la tierra arable disponible, modificaciones en la productividad en el sector agropecuario, cambios en los precios internacionales de los productos agrícolas como resultado de shocks en el resto del mundo o de políticas del resto del mundo con respecto a los contenidos de carbono de las exportaciones. Limitaciones a las inversiones en sectores específicos, como el de energía, inclusión de impuestos a las emisiones de carbono de los sectores de la economía</p>	<p>Se utilizan diferentes funciones del modelo para poder representar cada uno de los diferentes componentes del modelo: para la parte económica se incluyen las funciones de crecimiento del modelo de la EPPA4 y EPPA3. Se modelan temporalmente escenarios de emisiones de los siguientes gases CO₂, CH₄, N₂O, PFC, SF₆ y HFC. Se incluyen funciones del modelo IGSM2.2 e IGSM1;</p>	<p>En equilibrio, las cantidades ofrecidas han de ser iguales a las demandadas en todos los mercados de bienes y servicios. Se considera el pleno empleo de los factores primarios trabajo y capital. Además, los niveles de actividad del gobierno y de los sectores exteriores serán fijos. Con esto, el equilibrio es un vector de precios y una asignación en los que los consumidores maximizan su utilidad, los sectores productivos maximizan sus beneficios netos de impuestos, los ingresos del sector público coinciden con los pagos de los diferentes agentes económicos, todos los mercados de bienes, servicios y factores se vacían.</p>	<p>El modelo es un proceso iterativo que pretende incluir a las personas apropiadas en el momento adecuado para la modelación, se tiene que realizar un proceso integrado con las comunidades locales. Se requiere realizar un proceso iterativo a través de las preguntas. El próximo paso es definir la parte ecológica de los procesos, que incluyen las variables sociales y económicas, junto con sus respectivas escalas e interacciones.</p>	<p>Presenta tres opciones para integrar modelos temáticos: acoplar, enlazar o modelación integrada. Para cada uno de estos modelos se analiza el nivel de balance entre los temas, el nivel de complejidad interna y de vinculación, y la forma en que ha evolucionado la integración de los modelos y supuestos.</p>	<p>Este modelo describe la oferta y demanda de bienes y servicios, analiza el impacto de cambios en la producción y el consumo, además los efectos de GEI.</p>

Modelo	MEGC	<i>Integrated Global System Model</i>	Modelo de equilibrio general computable MEGA	<i>Toolkit de SMF</i>	<i>Integrated forestry assesments (IA)</i>	Modelo General de Equilibrio Computable Boyd-M
Enfoque de modelación	<p>Es un modelo flexible con facilidad para hacer análisis de sensibilidad de elasticidades de consumo y producción.</p> <p>La perspectiva es semi macroeconómica, porque si bien se deja funcionar los precios relativos no se llega a una desagregación exhaustiva, sino a una que se considera útil para cada economía y que permita mantener una evaluación sobre la base de los agregados económicos con los que se trabaja habitualmente para analizar países.</p> <p>Este modelo está integrado por cuatro etapas distintamente enfocadas: 1) la construcción de un MCS que represente a los sectores, haciendo énfasis en los que tienen una gran generación y aporte de Gases Invernaderos, 2) la elaboración de un modelo analítico que represente el funcionamiento la economía en términos de equilibrio general Walrasiano, 3) la adecuación del modelo para tener la evolución dinámica económica, 4) análisis de los resultados.</p>	<p>Es un enfoque de modelación integral, que utiliza diferentes modelos para integrar resultados de diferentes esquemas de modelación, esta integración se basa a partir de ecuaciones específicas de modelación que involucran el desarrollo de diferentes elementos matemáticos.</p>	<p>Las bases matemáticas del análisis de equilibrio general vienen de la estructura “Walrasiana”, y fue complementada en 1951 por Arrow, Debreu y otros (Modelo Arrow Hahn, 1971); sin embargo, fue hasta la llegada de la tecnología informática moderna cuando se empezó a explotar estos modelos (Nicholson, 1997). El modelo identifica un número de consumidores, cada uno de los cuales se supone que posee una dotación inicial de un número de bienes y factores, y un conjunto de preferencias (Bergoing, 1998). Para que los modelos sean precisos y se apeguen a la realidad es importante que se calibren con datos nacionales, estos deben ser: precios, factores de producción y oferta de bienes, ingreso, ahorro y formación de capital, importaciones, oferta y demanda de exportaciones, equilibrio en los</p>	<p>Se enfoca en estudios a través de ecosistemas de bosques similares e incluyendo sistemas de proceso común, limitaciones medioambientales en vegetación y disturbios naturales. Es un enfoque iterativo que parte de tomar las variables sociales y ecológicas que hay en la comunidad para poder hacer un análisis de comportamiento.</p>	<p>La propuesta de modelación, son recomendaciones que se deben de tener en cuenta para integrar los modelos temáticos, los alcances y limitantes que tiene cada uno de ellos dentro de una visión integrada. Reflexiona sobre la integración no lineal, y como el número de variables influye en la incertidumbre de los modelos.</p> <p>Se hace una síntesis de los principales riesgos, donde por ejemplo las series temporales: económicas, ecológicas y climáticas no son iguales, y la temporalidad requerida para modelarlas no es la misma.</p> <p>También presenta una aproximación para la cuadrícula de celdas, donde por ejemplo las unidades espaciales que funcionan para modelar los enfoques son diferentes, lo que al final complica una interpretación. Sin embargo, recata las ventajas de pensar en una visión integrada y propone criterios y</p>	<p>Se enfoca directamente a proyecciones en diferentes intervalos de tiempo para arrojar simulaciones en el País en Los 12 sectores con escenarios descritos a través de la información requerida. Es un enfoque económico, sociológico y ambiental.</p>

Modelo	MEGC	<i>Integrated Global System Model</i>	Modelo de equilibrio general computable MEGA	<i>Toolkit</i> de SMF	<i>Integrated forestry assesments</i> (IA)	Modelo General de Equilibrio Computable Boyd-M
			mercados domésticos, equilibrio en la balanza de pagos, entre otros; en el caso particular de este modelo se deben de incluir también emisiones de CO ₂ e debidas al valor bruto de producción (VBP) y tasas de subsidios (O’Ryan, et. al., 2000; Cardenete y Sancho, 2002).		elementos necesarios para la modelación integrada.	
Características sociales	Incluye costos de variables sociales, y del mercado de trabajo, considera a las familias como una unidad.	No incluye características sociales.	Se toman en cuenta 10 deciles poblacionales (hogares) clasificados de acuerdo al ingreso promedio.	Se caracteriza una comunidad específica, que comparte condiciones y características específicas.	Las características sociales que se pueden modelar e integrar van ligadas al componente social, se integra el análisis del entorno, no así de los individuos que lo conforman.	Se toman en cuenta más que la población creciente los estatus socio económicos sobre la población en porcentajes designados
Características económicas	Se reflejan la mayoría de las variables de la economía: gobierno, importaciones, exportaciones, transferencias al gobierno, impuestos, actividades de la población, mercado de bonos y resto del mundo.	Se incluye PIB, precios y crecimiento económico.	De la maximización de la utilidad se obtienen las funciones de demanda para cada bien y las demandas de mercado se definen como la suma de cada una de las demandas individuales. Las demandas de mercado de los bienes dependen de todos los precios, éstas son continuas, no negativas, homogéneas de grado cero y satisfacen la ley de Walras, de tal manera que a cualquier conjunto de precios el valor total	Permite explorar diferentes elementos por ejemplo los nuevos modelos silvícolas, la evaluación de escenarios alternativos con tasas de cosecha diferentes o patrones de cortes espacial, proyecciones más concretas de impactos por cosecha de madera de caribú y otros intereses de los actores clave y la evaluación de cómo estos escenarios y sus compensaciones serían aceptadas por las comunidades locales.	Se analizan las variables de mercado, como drivers que mueven las interacciones ecológicas. Se incluye un análisis de mercados internos y externos entre los productos seleccionados, en este caso los relevantes para el sector agrícola y forestal.	Dentro de las variables económicas se encuentran los insumos, producción, servicios, oferta, demanda, elasticidad de mercado, PIB crecimiento de la oferta laboral

Modelo	MEGC	<i>Integrated Global System Model</i>	Modelo de equilibrio general computable MEGA	<i>Toolkit de SMF</i>	<i>Integrated forestry assesments (IA)</i>	Modelo General de Equilibrio Computable Boyd-M
			del gasto del consumidor es igual a su ingreso y su ahorro (Bravo, 2009; Araujo 2012). La tecnología utilizada en la producción se describe por funciones de producción con rendimientos constantes o decrecientes a escala y por productores maximizando beneficios. La homogeneidad cero de las funciones de demanda junto con la homogeneidad lineal de beneficios con respecto a los precios, implica que solamente los precios relativos son relevantes para estos modelos y los precios absolutos no tienen ningún impacto.			
¿Qué variables del sector forestal se ven reflejadas?	Se incluyen la producción forestal y la compatibilización de los 12 sectores, representando el valor de producto interno bruto y valor bruto de producción, así como los impuestos pagados por emisiones de CO ₂ .	Usos del suelo, cambios de uso de suelo, cambios y flujos en los depósitos de carbono, cantidad de producción y tipo de producción.	En este caso no se incluía el sector forestal, pero se puede incluir a partir de la información de la MIP	Se pueden utilizar usando variables específicas de dominio como: cambio del paisaje forestal, hábitat de la fuente crecimiento y rendimiento de soporte de modelado.	Se pueden reflejar todas las variables que modelen en dos niveles: ecológico y climático, dando más prioridad a las primeras ya que son las que se vinculan directamente con la parte de cambio climático.	Se incluye el cambio de uso de suelo y aprovechamiento dentro del sector agricultura y ganadería
Características de aplicabilidad	El modelo enfatiza los aspectos económicos, y toma en cuenta cómo los cambios de precios relativos pueden modificar	Se requieren datos integrales tanto de emisiones por actividades humanas que generan GEI, usos	Es un modelo de equilibrio general computable que refleja sectores de la economía mexicana a	Se parte de una caracterización específica y detallada del sector forestal. Se incluye un análisis	Se aplicó el modelo para ver la respuesta de la integración en Alemania, sin embargo, da una serie	A partir de formas funcionales el software GAMS/MPSGE permite calibrar de

Modelo	MEGC	<i>Integrated Global System Model</i>	Modelo de equilibrio general computable MEGA	<i>Toolkit</i> de SMF	<i>Integrated forestry assesments</i> (IA)	Modelo General de Equilibrio Computable Boyd-M
	los resultados esperados de las políticas. Entre otras cosas, permite tomar en consideración como la movilidad de factores y los distintos valores de las elasticidades de sustitución modifican la efectividad de las medidas, la evaluación de su costo económico y del nivel de vida de los agentes de la economía, así como su desempeño en términos macroeconómicos y de crecimiento.	de energía, interacciones del sistema climático como: ciclo del carbono, ciclos atmosféricos, agricultura, cambios de uso del suelo, y variables económicas como crecimiento del PIB, costos de políticas y precios que se incorporan con otros modelos sectoriales.	partir de los sectores que se reportan en la matriz Insumo Producto Nacional. Se considera un equilibrio de mercado en el tiempo cero y a partir de ahí se pueden hacer experimentos de política.	detallado de la caracterización de la comunidad local y sus interacciones comerciales hacia el exterior, es un modelo interesante, sin embargo, no refleja permite realizar el análisis que se requiere para este estudio.	de criterios que permiten aplicarse a la integración de modelos de diferente tipo.	manera sencilla cada función de producción y utilidad. Calcula el valor del PIB, producción del sector, consumo por sector y de los hogares, la inversión, la acumulación capital, los precios relativos, ingresos del Gobierno y emisiones de CO ₂ ; así como costos para mitigación
Temporalidad	Ajustado a la temporalidad necesaria por el proyecto, ejemplo Chile utilizó un periodo de tiempo de 15 años.	Es un modelo dinámico	Se puede construir un modelo dinámico	20 años	La temporalidad depende de los datos de entrada que se utilicen.	El modelo fue aplicado para una proyección al 2030
Aplicabilidad de la temporalidad del modelo	Modelo aplicable en 6 países (Argentina, Brasil, Chile, El Salvador, Jamaica y Perú) en diferentes periodos de tiempo.	Se pueden hacer modelos con proyecciones de más de 100 años, depende de los insumos, pero el modelo tiene alcance a largo plazo.	Se puede hacer una serie temporal de 10 años,	Aplicación de una herramienta económica y salida de una herramienta ecológica (D19aLM) facilitando un enfoque interdisciplinario de modelación; se hace un análisis de la producción LANDIS por local forestal. Identificar las condiciones del suelo como un factor clave de la sucesión ecológica. En México no se cuenta con información tan detallada de las condiciones productoras para todos los estados, por	Se debe de considerar el rango de análisis de los modelos que se desean integrar y como estos se relacionan entre sí, eso definirá la temporalidad de un modelo.	Puede ser aplicado a cualquier serie de tiempo ya que las ecuaciones simultaneas no manejan constante de tiempo

Modelo	MEGC	<i>Integrated Global System Model</i>	Modelo de equilibrio general computable MEGA	<i>Toolkit de SMF</i>	<i>Integrated forestry assesments (IA)</i>	Modelo General de Equilibrio Computable Boyd-M
				lo que sería difícil contar con toda la información para aplicar el modelo.		
Requerimientos de información	Construcción de MCS y uso de El RAS y el método de la Entropía para obtención de datos no actualizados	Insumos específicos del funcionamiento del ciclo climático desde variables ambientales, económicas y sus interacciones.	Se debe de elaborar una Matriz de Insumo Producto que tenga una representatividad nacional. En esta matriz se documentan las variables que intervienen en el ciclo económico como son: producción, comercialización, consumo y acumulación. Se requiere una matriz de contabilidad social que es un sistema contable de equilibrio general que recoge todas las interacciones existentes en una económica. Para la información de los hogares se utiliza la Encuesta Nacional de Ingreso Gasto de los Hogares. Se requiere el factor de emisión sectorial de emisiones de GEI por millón bruto de producción.	Se requiere información específica de las comunidades forestales, y de las condiciones ecológicas y sociales.	Requiere información temática para cada tipo de modelo, e información de integración que son las variables que se cruzan entre los diferentes temas y que son los puentes de interacción entre los modelos	Se construye a partir de fuentes de información Nacionales elaborando una especie de matriz insumo-producto. Se incorporan al igual supuestos como la producción de petróleo, y gas nacional, perspectivas de crecimiento económico y la actualización de parámetros del modelo entorno a la tasa de depreciación del capital, las elasticidades de situación entre insumos y las elasticidades de la demanda en el sector energético.
Requerimientos de software	GAMS/MPSGE	Se corre en un software estadístico, hay diferentes sistemas de ecuaciones.	GAMS	LANDIS-II para las predicciones de incendios, D19aLM, interacción de otros modelos como el SELES, SORTIE, Patchwork	No especificado	Se utiliza un software que permite resolver un sistema de ecuaciones no lineales. El modelo BOYD-M se creó por GAMS/MPSGE

Modelo	MEGC	<i>Integrated Global System Model</i>	Modelo de equilibrio general computable MEGA	<i>Toolkit de SMF</i>	<i>Integrated forestry assesments (IA)</i>	Modelo General de Equilibrio Computable Boyd-M
Fortalezas del modelo	Es sumamente útil para establecer las formas funcionales y definir los valores de muchos parámetros importantes, como las elasticidades de sustitución entre bienes y factores.	Lo más destacado de este modelo es que incluye un modelo económico que proporciona proyecciones de emisiones y evaluar un entorno político cada vez más complejo; se incluye un nuevo modelo terrestre global compuesto por biogeofísico, ecológico y natural, que proporciona una mejor capacidad para estudiar las consecuencias del cambio hidrológico y ecológico; se incluye la adición de un modelo tridimensional de representación oceánica, este permite examinar la dinámica termodinámica global y sus impactos asociados al cambio climático.	Es un modelo sectorial que permite que se hagan modificaciones modulares donde se puede ir incluyendo información específica de acuerdo a las necesidades existentes, por ejemplo, se pueden hacer ajustes para incluir desempleo, cambios tecnológicos. El modelo se puede presentar en su versión estática y dinámica.	Se basa en una arquitectura modular que permite que se trabajen diferentes áreas al mismo tiempo. Esta construcción del modelo permite que se profundice en las áreas que más interesan o que tienen mayores emisiones en el sector.	Da claridad sobre principios, ventajas y desventajas de la integración de modelos, aplicado a un estudio de caso específico con resultados que muestran cómo puede variar un análisis con diferentes aproximaciones.	El análisis del CGE implica que el precio del equilibrio asegurará que no hay excedente de producción o escases del bien económico. Este tipo de modelos permite realizar distintas simulaciones considerando diferentes políticas para una economía particular compartida y así cuantificar la eficiencia distributiva y ambiental de manera simultánea
Áreas de oportunidad	Estudiar si existe algún conjunto de precios simultáneamente que consigan el equilibrio entre oferta y demanda	Se podrían incluir mayor cantidad de variables sociales, que modelen los impactos a la población y no solo los impactos generales al medio ambiente.	Se requiere más información para detallar el sector USCUS y sus enfoques metodológicos.	Combinar con variables económicas de otros sectores, por ejemplo, este modelo no hace mucho hincapié en la interrelación del sector agrícola.	Esta integración podría incluir la vinculación con un componente social que cierre la última parte de integración conceptual, va encaminado a una visión de paisaje.	Se puede profundizar más en el sector forestal, existe un modelo desarrollado con la misma base conceptual que se desarrolló para WWF donde se detalla más el sector forestal.

Modelo	MEGC	<i>Integrated Global System Model</i>	Modelo de equilibrio general computable MEGA	<i>Toolkit</i> de SMF	<i>Integrated forestry assesments</i> (IA)	Modelo General de Equilibrio Computable Boyd-M
Aplicabilidad en México	En el área del cálculo de impuestos producido por emisiones y por VPB en el área forestal.	No se cuenta con información completa de los ciclos geoquímicos y los flujos de carbono en el país, lo que dificultaría su aplicación en México.	El modelo se desarrolló para México así que es aplicable.	Se puede aplicar en México, pero se requiere hacer una adecuada selección de la información que alimentará el modelo, ya que utilizar fuentes de información diferentes aumenta los niveles de incertidumbre.	Se puede aplicar para integrar diferentes modelos seleccionados, no solo considerando una integración temática, sino también una integración sectorial o de enfoques.	Puede representar mejor las dinámicas económicas en México, por lo tanto, puede brindar simulaciones que ayuden a analizar las implicaciones económicas de reducir las características propuestas por el PECC
Similitud con el contexto nacional forestal	En el área forestal se carece de información estadística.	No tiene similitud con el contexto nacional forestal.	Se detalla el contexto nacional con base en la información de la MIP y la SAM, si se requiere algo más específico se debe buscar información más desagregada.	Se puede detallar el sector forestal, se hace una caracterización por condiciones ecológicas que será muy útil para las condiciones de la situación del país.	Se cuentan con diferentes modelos que se pueden integrar.	Es un modelo desarrollado para México por lo que va en la línea de contexto con los parámetros nacionales y delimitado a México con restricciones exclusivas del País
Diferencias con el modelo nacional forestal	El PIB forestal es muy pequeño por lo que la modelación del sector forestal va a ser pequeña.	Se requiere más información para aplicar el modelo en el país.	Se modela el sector forestal a partir de su enfoque económico, cuanto se compra o cuanto se vende, y su situación en la balanza comercial.	El sector forestal es poco tecnificado, y no se cuenta con esta caracterización ecológica.	No hay tanta claridad en la posible vinculación de los modelos a desarrollar.	Se aplica al modelo nacional, pero no se detalla a profundidad.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo II: Tabla de agrupación de sectores

Sistema de Cuentas de América del Norte	Rama económica	IPCC	Etiqueta para modelos
2111	Extracción de petróleo y gas	Energía	Energía
2121	Minería de carbón mineral	Energía	
2122	Minería de minerales metálicos	Energía	
2123	Minería de minerales no metálicos	Energía	
2131	Servicios relacionados con la minería	Energía	
2211	Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	Energía	
2222	Suministro de gas por ductos al consumidor final	Energía	
2371	Construcción de obras para el suministro de agua, petróleo, gas, energía eléctrica y telecomunicaciones	Energía	
3241	Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	Energía	
3353	Fabricación de equipo de generación y distribución de energía eléctrica	Energía	
4862	Transporte de gas natural por ductos	Energía	
4869	Transporte por ductos de otros productos	Energía	
4811	Transporte aéreo regular	Energía/Transporte	
4812	Transporte aéreo no regular	Energía/Transporte	
4821	Transporte por ferrocarril	Energía/Transporte	
4831	Transporte marítimo	Energía/Transporte	
4832	Transporte por aguas interiores	Energía/Transporte	
4841	Autotransporte de carga general	Energía/Transporte	
4851	Transporte colectivo urbano y suburbano de pasajeros de ruta fija	Energía/Transporte	
4852	Transporte colectivo foráneo de pasajeros de ruta fija	Energía/Transporte	
4853	Servicio de taxis y limusinas	Energía/Transporte	
4854	Transporte escolar y de personal	Energía/Transporte	
4855	Alquiler de autobuses con chofer	Energía/Transporte	
4859	Otro transporte terrestre de pasajeros	Energía/Transporte	
4871	Transporte turístico por tierra	Energía/Transporte	
4872	Transporte turístico por agua	Energía/Transporte	
4879	Otro transporte turístico	Energía/Transporte	
3111	Elaboración de alimentos para animales	IPPU	Procesos industriales y uso de productos (transformación)
3112	Molienda de granos y de semillas y obtención de aceites y grasas	IPPU	
3113	Elaboración de azúcares, chocolates, dulces y similares	IPPU	
3114	Conservación de frutas, verduras y alimentos preparados	IPPU	
3115	Elaboración de productos lácteos	IPPU	

Sistema de Cuentas de América del Norte	Rama económica	IPCC	Etiqueta para modelos
3117	Preparación y envasado de pescados y mariscos	IPPU	
3118	Elaboración de productos de panadería y tortillas	IPPU	
3119	Otras industrias alimentarias	IPPU	
3121	Industria de las bebidas	IPPU	
3122	Industria del tabaco	IPPU	
3131	Preparación e hilado de fibras textiles, y fabricación de hilos	IPPU	
3132	Fabricación de telas	IPPU	
3133	Acabado de productos textiles y fabricación de telas recubiertas	IPPU	
3141	Confección de alfombras, blancos y similares	IPPU	
3149	Fabricación de otros productos textiles, excepto prendas de vestir	IPPU	
3151	Fabricación de prendas de vestir de punto	IPPU	
3162	Fabricación de calzado	IPPU	
3169	Fabricación de otros productos de cuero, piel y materiales sucedáneos	IPPU	
3231	Impresión e industrias conexas	IPPU	
3251	Fabricación de productos químicos básicos	IPPU	
3252	Fabricación de resinas y hules sintéticos, y fibras químicas	IPPU	
3254	Fabricación de productos farmacéuticos	IPPU	
3255	Fabricación de pinturas, recubrimientos y adhesivos	IPPU	
3256	Fabricación de jabones, limpiadores y preparaciones de tocador	IPPU	
3259	Fabricación de otros productos químicos	IPPU	
3261	Fabricación de productos de plástico	IPPU	
3262	Fabricación de productos de hule	IPPU	
3271	Fabricación de productos a base de arcillas y minerales refractarios	IPPU	
3272	Fabricación de vidrio y productos de vidrio	IPPU	
3273	Fabricación de cemento y productos de concreto	IPPU	
3274	Fabricación de cal, yeso y productos de yeso	IPPU	
3279	Fabricación de otros productos a base de minerales no metálicos	IPPU	
3311	Industria básica del hierro y del acero	IPPU	
3312	Fabricación de productos de hierro y acero	IPPU	
3313	Industria básica del aluminio	IPPU	
3314	Industrias de metales no ferrosos, excepto aluminio	IPPU	
3315	Moldeo por fundición de piezas metálicas	IPPU	
3321	Fabricación de productos metálicos forjados y troquelados	IPPU	
3322	Fabricación de herramientas de mano sin motor y utensilios de cocina metálicos	IPPU	
3323	Fabricación de estructuras metálicas y productos de	IPPU	

Sistema de Cuentas de América del Norte	Rama económica	IPCC	Etiqueta para modelos
	herrería		
3324	Fabricación de calderas, tanques y envases metálicos	IPPU	
3325	Fabricación de herrajes y cerraduras	IPPU	
3326	Fabricación de alambre, productos de alambre y resortes	IPPU	
3327	Maquinado de piezas metálicas y fabricación de tornillos	IPPU	
3328	Recubrimientos y terminados metálicos	IPPU	
3329	Fabricación de otros productos metálicos	IPPU	
3332	Fabricación de maquinaria y equipo para las industrias manufactureras, excepto la metalmecánica	IPPU	
3333	Fabricación de maquinaria y equipo para el comercio y los servicios	IPPU	
3334	Fabricación de equipo de aire acondicionado, calefacción, y de refrigeración industrial y comercial	IPPU	
3335	Fabricación de maquinaria y equipo para la industria metalmecánica	IPPU	
3336	Fabricación de motores de combustión interna, turbinas y transmisiones	IPPU	
3339	Fabricación de otra maquinaria y equipo para la industria en general	IPPU	
3341	Fabricación de computadoras y equipo periférico	IPPU	
3342	Fabricación de equipo de comunicación	IPPU	
3343	Fabricación de equipo de audio y de video	IPPU	
3344	Fabricación de componentes electrónicos	IPPU	
3345	Fabricación de instrumentos de medición, control, navegación, y equipo médico electrónico	IPPU	
3346	Fabricación y reproducción de medios magnéticos y ópticos	IPPU	
3351	Fabricación de accesorios de iluminación	IPPU	
3352	Fabricación de aparatos eléctricos de uso doméstico	IPPU	
3359	Fabricación de otros equipos y accesorios eléctricos	IPPU	
3361	Fabricación de automóviles y camiones	IPPU	
3362	Fabricación de carrocerías y remolques	IPPU	
3363	Fabricación de partes para vehículos automotores	IPPU	
3364	Fabricación de equipo aeroespacial	IPPU	
3365	Fabricación de equipo ferroviario	IPPU	
3366	Fabricación de embarcaciones	IPPU	
3369	Fabricación de otro equipo de transporte	IPPU	
3371	Fabricación de muebles, excepto de oficina y estantería	IPPU	
3372	Fabricación de muebles de oficina y estantería	IPPU	
3379	Fabricación de colchones, persianas y cortineros	IPPU	
3391	Fabricación de equipo no electrónico y material desechable de uso médico, dental y para laboratorio, y artículos oftálmicos	IPPU	
3399	Otras industrias manufactureras	IPPU	

Sistema de Cuentas de América del Norte	Rama económica	IPCC	Etiqueta para modelos
3116	Matanza, empaclado y procesamiento de carne de ganado, aves y otros animales comestibles	AFOLU/ Proceso ganadería	Procesos ganadería
3161	Curtido y acabado de cuero y piel	AFOLU/ Proceso ganadería	
3211	Aserrado y conservación de la madera	PROCESO AFOLU	Procesos maderables
3212	Fabricación de laminados y aglutinados de madera	PROCESO AFOLU	
3219	Fabricación de otros productos de madera	PROCESO AFOLU	
3253	Fabricación de fertilizantes, pesticidas y otros agroquímicos	AFOLU/ Proceso agrícola	Procesos agrícolas
3331	Fabricación de maquinaria y equipo agropecuario, para la construcción y para la industria extractiva	AFOLU/ Proceso agrícola	
3221	Fabricación de pulpa, papel y cartón	AFOLU/ Papel	Procesos Papel
3222	Fabricación de productos de cartón y papel	AFOLU/ Papel	
1132	Viveros forestales y recolección de productos forestales	AFOLU	Aprovechamiento Forestal
1133	Tala de árboles	AFOLU	
1153	Servicios relacionados con el aprovechamiento forestal	AFOLU	
1111	Cultivo de semillas oleaginosas, leguminosas y cereales	AFOLU/Agrícola anual	Agrícola Anual
1112	Cultivo de hortalizas	AFOLU/Agrícola anual	
1114	Cultivo en invernaderos y viveros, y floricultura	AFOLU/Agrícola anual	
1119	Otros cultivos	AFOLU/ agrícola perenne	Agrícola perenne
1113	Cultivo de frutales y nueces	AFOLU/ agrícola perenne	
1151	Servicios relacionados con la agricultura	AFOLU/ agrícola perenne	
1121	Explotación de bovinos	AFOLU/ Ganadería	
1122	Explotación de porcinos	AFOLU/ Ganadería	Ganadería
1123	Explotación avícola	AFOLU/ Ganadería	
1124	Explotación de ovinos y caprinos	AFOLU/ Ganadería	
1129	Explotación de otros animales	AFOLU/ Ganadería	
1131	Silvicultura	AFOLU/ Ganadería	
1142	Caza y captura	AFOLU/ Ganadería	
1152	Servicios relacionados con la cría y explotación de animales	AFOLU/ Ganadería	
2221	Captación, tratamiento y suministro de agua	Residuos	Residuos
5621	Manejo de desechos y servicios de remediación	Residuos	
1125	Acuicultura	SERVICIO	Servicios
1141	Pesca	SERVICIO	
2361	Edificación residencial	SERVICIO	
2362	Edificación no residencial	SERVICIO	
2372	División de terrenos y construcción de obras de urbanización	SERVICIO	
2373	Construcción de vías de comunicación	SERVICIO	
2379	Otras construcciones de ingeniería civil	SERVICIO	
2389	Otros trabajos especializados para la construcción	SERVICIO	
3152	Confección de prendas de vestir	SERVICIO	

Sistema de Cuentas de América del Norte	Rama económica	IPCC	Etiqueta para modelos
3159	Confección de accesorios de vestir y otras prendas de vestir no clasificados en otra parte	SERVICIO	
4311	Comercio al por mayor de abarrotes y alimentos	SERVICIO	
4881	Servicios relacionados con el transporte aéreo	SERVICIO	
4882	Servicios relacionados con el transporte por ferrocarril	SERVICIO	
4883	Servicios relacionados con el transporte por agua	SERVICIO	
4884	Servicios relacionados con el transporte por carretera	SERVICIO	
4885	Servicios de intermediación para el transporte de carga	SERVICIO	
4889	Otros servicios relacionados con el transporte	SERVICIO	
4911	Servicios postales	SERVICIO	
4921	Servicios de mensajería y paquetería foránea	SERVICIO	
4931	Servicios de almacenamiento	SERVICIO	
5111	Edición de periódicos, revistas, libros y similares, y edición de estas publicaciones integrada con la impresión	SERVICIO	
5112	Edición de software y edición de software integrada con la reproducción	SERVICIO	
5121	Industria filmica y del video	SERVICIO	
5122	Industria del sonido	SERVICIO	
5151	Transmisión de programas de radio y televisión	SERVICIO	
5152	Producción de programación de canales para sistemas de televisión por cable o satelitales	SERVICIO	
5171	Operadores de telecomunicaciones alámbricas	SERVICIO	
5172	Operadores de telecomunicaciones inalámbricas, excepto servicios de satélite	SERVICIO	
5174	Servicios de telecomunicaciones por satélite	SERVICIO	
5179	Otros servicios de telecomunicaciones	SERVICIO	
5182	Procesamiento electrónico de información, hospedaje y otros servicios relacionados	SERVICIO	
5191	Otros servicios de información	SERVICIO	
5211	Banca central	SERVICIO	
5221	Banca múltiple	SERVICIO	
5222	Instituciones financieras de fomento económico	SERVICIO	
5223	Uniones de crédito e instituciones de ahorro	SERVICIO	
5224	Otras instituciones de intermediación crediticia y financiera no bursátil	SERVICIO	
5225	Servicios relacionados con la intermediación crediticia no bursátil	SERVICIO	
5231	Casas de bolsa, casas de cambio y centros cambiarios	SERVICIO	
5232	Bolsa de valores	SERVICIO	
5239	Asesoría en inversiones y otros servicios relacionados con la intermediación bursátil	SERVICIO	
5241	Instituciones de seguros y fianzas	SERVICIO	
5242	Servicios relacionados con los seguros y las fianzas	SERVICIO	

Sistema de Cuentas de América del Norte	Rama económica	IPCC	Etiqueta para modelos
5311	Alquiler sin intermediación de bienes raíces	SERVICIO	
5312	Inmobiliarias y corredores de bienes raíces	SERVICIO	
5313	Servicios relacionados con los servicios inmobiliarios	SERVICIO	
5321	Alquiler de automóviles, camiones y otros transportes terrestres	SERVICIO	
5322	Alquiler de artículos para el hogar y personales	SERVICIO	
5323	Centros generales de alquiler	SERVICIO	
5324	Alquiler de maquinaria y equipo agropecuario, pesquero, industrial, comercial y de servicios	SERVICIO	
5331	Servicios de alquiler de marcas registradas, patentes y franquicias	SERVICIO	
5411	Servicios legales	SERVICIO	
5412	Servicios de contabilidad, auditoría y servicios relacionados	SERVICIO	
5413	Servicios de arquitectura, ingeniería y actividades relacionadas	SERVICIO	
5414	Diseño especializado	SERVICIO	
5415	Servicios de diseño de sistemas de cómputo y servicios relacionados	SERVICIO	
5416	Servicios de consultoría administrativa, científica y técnica	SERVICIO	
5417	Servicios de investigación científica y desarrollo	SERVICIO	
5418	Servicios de publicidad y actividades relacionadas	SERVICIO	
5419	Otros servicios profesionales, científicos y técnicos	SERVICIO	
5511	Corporativos	SERVICIO	
5611	Servicios de administración de negocios	SERVICIO	
5612	Servicios combinados de apoyo en instalaciones	SERVICIO	
5613	Servicios de empleo	SERVICIO	
5614	Servicio de apoyo secretarial, fotocopiado, cobranza, investigación crediticia y similares	SERVICIO	
5615	Agencias de viajes y servicios de reservaciones	SERVICIO	
5616	Servicios de investigación, protección y seguridad	SERVICIO	
5617	Servicios de limpieza	SERVICIO	
5619	Otros servicios de apoyo a los negocios	SERVICIO	
6111	Escuelas de educación básica, media y para necesidades especiales	SERVICIO	
6112	Escuelas de educación postbachillerato	SERVICIO	
6113	Escuelas de educación superior	SERVICIO	
6114	Escuelas comerciales, de computación y de capacitación para ejecutivos	SERVICIO	
6115	Escuelas de oficios	SERVICIO	
6116	Otros servicios educativos	SERVICIO	
6117	Servicios de apoyo a la educación	SERVICIO	
6211	Consultorios médicos	SERVICIO	

Sistema de Cuentas de América del Norte	Rama económica	IPCC	Etiqueta para modelos
6212	Consultorios dentales	SERVICIO	
6213	Otros consultorios para el cuidado de la salud	SERVICIO	
6214	Centros para la atención de pacientes que no requieren hospitalización	SERVICIO	
6215	Laboratorios médicos y de diagnóstico	SERVICIO	
6216	Servicios de enfermería a domicilio	SERVICIO	
6219	Servicios de ambulancias, de bancos de órganos y otros servicios auxiliares al tratamiento médico	SERVICIO	
6221	Hospitales generales	SERVICIO	
6222	Hospitales psiquiátricos y para el tratamiento por adicción	SERVICIO	
6223	Hospitales de otras especialidades médicas	SERVICIO	
6231	Residencias con cuidados de enfermeras para enfermos convalecientes, en rehabilitación, incurables y terminales	SERVICIO	
6232	Residencias para el cuidado de personas con problemas de retardo mental, trastorno mental y adicciones	SERVICIO	
6233	Asilos y otras residencias para el cuidado de ancianos	SERVICIO	
6239	Orfanatos y otras residencias de asistencia social	SERVICIO	
6241	Servicios de orientación y trabajo social	SERVICIO	
6242	Servicios comunitarios de alimentación, refugio y emergencia	SERVICIO	
6243	Servicios de capacitación para el trabajo para personas desempleadas, subempleadas o discapacitadas	SERVICIO	
6244	Guarderías	SERVICIO	
7111	Compañías y grupos de espectáculos artísticos y culturales	SERVICIO	
7112	Deportistas y equipos deportivos profesionales	SERVICIO	
7113	Promotores de espectáculos artísticos, culturales, deportivos y similares	SERVICIO	
7114	Agentes y representantes de artistas, deportistas y similares	SERVICIO	
7115	Artistas, escritores y técnicos independientes	SERVICIO	
7121	Museos, sitios históricos, zoológicos y similares	SERVICIO	
7131	Parques con instalaciones recreativas y casas de juegos electrónicos	SERVICIO	
7132	Casinos, loterías y otros juegos de azar	SERVICIO	
7139	Otros servicios recreativos	SERVICIO	
7211	Hoteles, moteles y similares	SERVICIO	
7212	Campamentos y albergues recreativos	SERVICIO	
7213	Pensiones y casas de huéspedes, y departamentos y casas amueblados con servicios de hotelería	SERVICIO	
7221	Restaurantes con servicio completo	SERVICIO	
7222	Restaurantes de autoservicio, comida para llevar y otros restaurantes con servicio limitado	SERVICIO	
7223	Servicios de preparación de alimentos por encargo	SERVICIO	
7224	Centros nocturnos, bares, cantinas y similares	SERVICIO	

Sistema de Cuentas de América del Norte	Rama económica	IPCC	Etiqueta para modelos
8111	Reparación y mantenimiento de automóviles y camiones	SERVICIO	
8112	Reparación y mantenimiento de equipo electrónico y de equipo de precisión	SERVICIO	
8113	Reparación y mantenimiento de maquinaria y equipo agropecuario, industrial, comercial y de servicios	SERVICIO	
8114	Reparación y mantenimiento de artículos para el hogar y personales	SERVICIO	
8121	Salones y clínicas de belleza, baños públicos y boquerías	SERVICIO	
8122	Lavanderías y tintorerías	SERVICIO	
8123	Servicios funerarios y administración de cementerios	SERVICIO	
8124	Estacionamientos y pensiones para vehículos automotores	SERVICIO	
8129	Servicios de revelado e impresión de fotografías y otros servicios personales	SERVICIO	
8131	Asociaciones y organizaciones comerciales, laborales, profesionales y recreativas	SERVICIO	
8132	Asociaciones y organizaciones religiosas, políticas y civiles	SERVICIO	
8141	Hogares con empleados domésticos	SERVICIO	
9311	Órganos legislativos	SERVICIO	
9312	Administración pública en general	SERVICIO	
9313	Regulación y fomento del desarrollo económico	SERVICIO	
9314	Impartición de justicia y mantenimiento de la seguridad y el orden público	SERVICIO	
9315	Regulación y fomento de actividades para mejorar y preservar el medio ambiente	SERVICIO	
9316	Actividades administrativas de instituciones de bienestar social	SERVICIO	
9317	Relaciones exteriores	SERVICIO	
9318	Actividades de seguridad nacional	SERVICIO	
9321	Organismos internacionales y extraterritoriales	SERVICIO	

Fuente: Elaboración propia,