Anexo 9. Protocolo de variaciones de carbono y propagación de incertidumbres

Oswaldo Carrillo, Rene Gonzales, Jorge Morfín

01/05/2016

Tabla de contenido

Introducción 1
Objetivo 1
Objetivos particulares 1
Métodos y materiales 1
Propagación de incertidumbres con el Método Analítico del IPCC 2
Combinación de incertidumbres de las absorciones a nivel componente y subcategoría de las "Tierras Forestales" que permanecen como "Tierras Forestales" 2
Propagación de incertidumbres de las absorciones a nivel de categoría de las "Tierras Forestales" que pasan a "Otros Usos" 4
Propagación de incertidumbres de las emisiones/absorciones a nivel estatal. 5
Propagación de incertidumbres con el Método Montecarlo 5
Discusión y Conclusión 6
Referencias 6

Introducción

Las estimaciones de incertidumbres constituyen un elemento esencial de un inventario exhaustivo de emisiones y absorciones de gases. Se las debe obtener tanto para el nivel nacional como para la estimación de la tendencia, así como para tales componentes como los factores de emisión, los datos de la actividad y otros parámetros de estimación correspondientes a cada categoría (IPCC, 2006). México tiene una amplia experiencia en el desarrollo de inventarios de gases de efecto invernadero, algunas de los más recientes son las comunicaciones cuarta (INEGEI, 2006) y quinta (INEGEI, 2012) que presentan estimaciones detalladas por componente de las emisiones/absorciones del sector LCLUCF. Sin embargo, a pesar de que en ambas comunicaciones se han estimado las incertidumbres de los Factores de Emisión (FE) y Factores de Absorción (FA) para este sector, estás no se ha propagado por ninguno de los métodos sugeridos por el IPCC.

Por tal motivo y para seguir las directrices del IPCC (2006), es necesario propagar las incertidumbres de los FE, FA y de los Datos de Actividad (DA) en todo el proceso de estimación de las emisiones/absorciones estatales de carbono del sector LCLUCF. De esta manera, el presente documento pretende mostrar la correcta propagación de las incertidumbres del FE y FA (por el momento se excluyen de análisis las incertidumbres del DA debido a que no se cuenta con información para obtenerlas) del carbono de la biomasa aérea viva y muerta (que son los componentes a los que se les ha podido estimar sus incertidumbres) en cada uno de los pasos de estimación. De manera particular, se expone la propagación de las incertidumbres desde la combinación de las incertidumbres de los FE y DA a nivel de subcategoría, categoría y estatal.

Para describir todo el proceso mencionado previamente, a continuación se presentan los métodos utilizados para la propagación de las incertidumbres desde el nivel de subcategoría y hasta nivel estatal. Posteriormente se muestran los resultados de la propagación aplicadas a nivel de subcategoría y después se resumen las combinaciones de incertidumbres de una categoría. Finalmente se presenta la discusión y conclusiones de los resultados obtenidos y métodos utilizados.

Objetivo

Propagar las incertidumbres de los factores de emisión y absorción en todo el proceso de estimación de las emisiones/absorciones a nivel estatal utilizando el método analítico y montecarlo del IPCC.

Objetivos particulares

- Propagar las incertidumbres de los FE y FA a nivel de emisiones/absorciones de cada subcategoría
- Propagar las incertidumbres de las emisiones/absorciones de cada subcategoría a nivel de Categoría
- Propagar las incertidumbres de las emisiones/absorciones de cada categoría a nivel estatal

Métodos y materiales

La propagación de las incertidumbres se desarrolló partiendo de la combinación de incertidumbres de las emisiones/almacenes de cada subcategoría, posteriormente estás se propagaron a nivel de categoría y después las incertidumbres de las categorías de transición se combinaron para obtener la incertidumbre de la estimación de las emisiones/absorciones a nivel estatal.

Para combinar las incertidumbres de las emisiones/almacenes a nivel de subcategoría primero se procedió a estimar las incertidumbres de cada una de las emisiones/absorciones. Para ello, se tomó como insumo los FE, DA y sus respectivas incertidumbres estimadas en el Protocolo de Estimación de Factores de Emisión (Fortalecimiento REDD+ y Cooperación Sur-Sur[b]. 2014), las cuales están reportadas para los estratos definidos en este mismo documento. Por tal motivo, en el resto del documento la propagación de las incertidumbres se realizó para esas subcategorías (estratos) agrupadas por las categorías ("Tierras Forestales" que permaneces como "Tierras Forestales" y "Tierras Forestales" que pasan a "Otros Usos") del IPCC (2003).

El método de propagación utilizado es el método analítico (*Método 1: Propagación del error*) y el Montecarlo del IPCC (2006). El Método 1 se utilizó debido a que es un método fácil de implementar y es adecuado para la información de los FE y DA disponible actualmente. Como se mencionó en la introducción, por el momento no se cuenta con la incertidumbre del DA, en consecuencia, toda la propagación de incertidumbres en todos los niveles se desarrolló implementando consecutivamente la combinación de incertidumbres para la suma y la resta como lo indica el Método 1 IPCC y propagando la incertidumbre del FE en vario niveles a través de simulación numérica como lo indica el método Montecarlo. Se propuso estos métodos debido a que la estimación final de todo el inventario de gases de efecto invernadero para el sector LULUCF es el resultado de sumas y restas de emisiones y absorciones (puesto que el DA se supone que es una constante sin incertidumbre). El detalle de estimación en cada etapa se muestra a continuación.

Propagación de incertidumbres con el Método Analítico del IPCC

<u>Combinación de incertidumbres de las absorciones a nivel componente y subcategoría de las "Tierras Forestales" que permanecen como "Tierras Forestales"</u>

La estimación de las absorciones a nivel de subcategorías (pertenecientes a la categoría definida en el IPCC como "Tierras Forestales" que permanecen como "Tierras Forestales") se estimaron sumando las absorciones del componente de la biomasa aérea viva y el componente de la biomasa radicular de cada subcategoría. Las absorciones de cada uno de estos componentes fue el resultado de ponderar los FA por su respectiva área de cada subcategoría (ver Ecuación 1).

$$ABVA_{ij} = FA_{BVA_{ij}} \times A_{BVA_{ij}} \qquad \text{Ec (1)}$$

Dónde:

$ABVA_{ij}$: Absorción de carbono por la biomasa viva aérea de la subcategoría j de la categoría i

$FA_{BVA_{ij}}$: Factor de absorción de carbono de la biomasa viva aérea de la subcategoría j de la categoría i

$A_{BVA_{ij}}$: Área del $FA_{BVA_{ij}}$ de la subcategoría j de la categoría i

Como puede observarse en la ecuación anterior, la Absorción de carbono de la Biomasa Viva Aérea (ABVA) fue el resultado de multiplicar una variable (que es el FA) y una constante (que es el área). Por lo tanto, la incertidumbre de la ABVA hereda directamente las propiedades de la incertidumbre del FA puesto que el área es una constante. Además, sabemos que las incertidumbres están en función de la varianza del estimador, por lo que para propagar las incertidumbres se recurrió a las propiedades de la varianza del FA. Los FA para esta categoría del IPCC fueron

obtenidos a partir de estimadores de razón (Velasco, 2003) y este estimador tiene la propiedad de que cuando se pondera por una constante, la varianza del producto ($FA_{BVA_{ij}} \times A_{BVA_{ij}}$) es igual a la varianza del FE multiplicada por el cuadrado de la constante (Velazco, 2005), este proceso se muestra en la Ecuación 2.

$$var(ABVA_{ij}) = \left(A_{BVA_{ij}}\right)^2 \times var\left(FA_{BVA_{ij}}\right) \qquad \text{Ec (2)}$$

Dónde:

$Var(ABVA_{ij})$: Varianza de la $ABVA_{ij}$

$var\left(FA_{BVA_{ij}}\right)$: Varianza del $FA_{BVA_{ij}}$, la cual está definida en el Protocolo de Estimación de factores de emisión, absorción y sus incertidumbres ().

Una vez obtenida la varianza de la ABVA, se procedió a estimar las incertidumbres siguiendo las directrices del IPCC(2006) como se exponen en la Ecuación 3.

$$U_{ABVA_{ij}} = \frac{1.96 \times \sqrt{var(ABVA_{ij})}}{ABVA_{ij}} \times 100 \qquad \text{Ec (3)}$$

Dónde:

$U_{ABVA_{ij}}$: Incertidumbre del ABVA de la subcategoría j de la categoría i

$var(ABVA_{ij})$ y $ABVA_{ij}$: definidas previamente

Cabe mencionar que la incertidumbre del componente de Absorciones de carbono de la Biomasa Viva Radicular (ABVR) se estimó de manera análoga a lo mostrado para la ABVA.

Finalmente, después de estimar las incertidumbres de las ABVR y de las ABVA, se procedió a propagarlas a través de la combinación de incertidumbres por la adición como lo indica el Método 1 del IPCC. Se decidió propagarlas bajo este enfoque debido a que en cada subcategoría, la Absorción de carbono de la Biomasa Viva (ABV) es el resultado de la suma de la ABVR y de la ABVR. De esta manera las incertidumbres de las ABV en subcategoría se estimaron como se muestra en la Ecuación 3.

$$U_{ABV_{ij}} = \frac{\sqrt{\left(U_{ABVA_{ij}} \times ABVA_{ij}\right)^2 + \left(U_{ABVR_{ij}} \times ABVR_{ij}\right)^2}}{\left|ABVA_{ij} + ABVR_{ij}\right|} \qquad \text{Ec (4)}$$

Dónde:

$U_{ABV_{ij}}$: Incertidumbre de las Absorciones de carbono de la Biomasa Viva Aérea de la subcategoría j de la categoría i

$ABVR_{ij}$: Absorciones de carbono de la Biomasa Viva Radicular de la subcategoría j de la categoría i

$U_{ABVR_{ij}}$: Incertidumbre del $ABVR_{ij}$

$U_{ABVA_{ij}}$ y $ABVA_{ij}$: definidas previamente

<u>Propagación de incertidumbres de las absorciones a nivel de categoría de las "Tierras Forestales" que pasan a "Otros Usos"</u>

La estimación de las absorciones a nivel de categoría resulta de la suma de las absorciones de las subcategorías (ver Ecuación 5).

$$ABV_i = \sum_{j=1}^{n_i} ABV_{ij} \qquad \text{Ec (5)}$$

Dónde:

ABV_i: Absorción total de carbono de la Biomasa Viva de la categoría i

ABV_{ij}: Absorciones de carbono de la Biomasa Viva Aérea de la subcategoría j de la categoría i

Cómo puede verse en la Ecuación 5, las ABV de la categoría i es el resultado de la adición de ABV de las subcategorías, por lo tanto, la incertidumbre se propagó a través de la combinación de incertidumbres por la adición mostrada en el Método 1 del IPCC:

$$U_{ABV_i} = \frac{\sqrt{\left(U_{ABV_{i1}} \times ABV_{i1}\right)^2 + \left(U_{ABV_{i2}} \times ABV_{i2}\right)^2 + \cdots + \left(U_{ABV_{i\,n_i}} \times ABV_{i\,n_i}\right)^2}}{\left|ABV_{i1} + ABV_{i2} + \cdots + ABV_{i\;n_i}\right|} \qquad \text{Ec (6)}$$

U_{ABV_i}: Incertidumbre de la Absorción total de carbono de la Biomasa Viva de la categoría i

$U_{ABV_{i1}}$: Incertidumbre de las ABV de la subcategoría 1 de la categoría i

$U_{ABV_{i2}}$: Incertidumbre de las ABV de la subcategoría 2 de la categoría i

$U_{ABV_{i\,n_i}}$: Incertidumbre de las ABV de la subcategoría n de la categoría i

ABV_{i1}: Absorción de carbono de la Biomasa Viva Aérea de la subcategoría 1 de la categoría i

ABV_{i2}: Absorción de carbono de la Biomasa Viva Aérea de la subcategoría 2 de la categoría i

$ABV_{i\,n_i}$: Absorción de carbono de la Biomasa Viva Aérea de la subcategoría n de la categoría i

La propagación de las incertidumbres de las Emisiones de la Biomasa Viva de la sub-categorías de "Tierras Forestales" que pasaron a "Otros Usos/Praderas", "Praderas" que permanecieron como "Praderas" y "Praderas" que pasaron a "Otros Usos" se realizó de manera análoga a lo mostrado en esta sub-categoría. Sin embargo, para las "Tierras Forestales" que pasaron a "Tierras Forestales degradas", "Tierras Forestales degradas" que pasaron a "Tierras Forestales" y "Otros Usos" que pasaron a "Tierras Forestales" y su símil en praderas, no propagaron sus incertidumbres, ya que las incertidumbres de sus FE no se estimaron, debido a que para estas subcategorías los FE fueron obtenidos a partir de modelos proxis y por lo tanto no fue posible obtener sus incertidumbres mediante métodos estadísticos formales. En este sentido, la propagación de incertidumbres a nivel nacional para esta categoría, se realizó tomando en cuenta sólo aquellas subcategorías a las que se les estimo su incertidumbre.

Propagación de incertidumbres de las emisiones/absorciones a nivel estatal.

La estimación a nivel nacional del Balance total de Emisiones y Absorciones de carbono de la Biomasa (BEAB) se obtiene a partir de sumas y restas consecutivas de absorciones y emisiones de cada una de las categorías del IPCC. Por lo tanto, la incertidumbre del BEAB es el resultado de la combinación de incertidumbres por la suma y resta como lo sugiere el Método 1 del IPCC (2006). La expresión de este proceso se muestra en la Ecuación 7.

$$U_{BEAB} = \frac{\sqrt{(U_{ABV_1} \times ABV_1)^2 + (U_{ABV_2} \times ABV_2)^2 + \cdots + (U_{ABV_n} \times ABV_n)^2}}{|ABV_1 + ABV_2 + \cdots + ABV_n|} \qquad \text{Ec (6)}$$

U_{ABV_i}: Incertidumbre del Balance total de Emisiones y Absorciones de carbono de la Biomasa (BEAB)

$U_{ABV_{i1}}$: Incertidumbre de las ABV de la categoría 1

$U_{ABV_{i2}}$: Incertidumbre de las ABV de la categoría 2

$U_{ABV_{i\,n_i}}$: Incertidumbre de las ABV de la categoría n

ABV_{i1}: Absorción de carbono de la Biomasa Viva Aérea de la categoría 1

ABV_{i2}: Absorción de carbono de la Biomasa Viva Aérea de la categoría 2

$ABV_{i\,n_i}$: Absorción de carbono de la Biomasa Viva Aérea de la categoría n

Tabla 1. Ejemplo de propagación de incertidumbres de las emisiones por la multiplicación y suma, utilizando el método analítico del IPCC.

Class/Component	Emission Factor	Uncertainty of EF (U_{EF})	AD	Uncertainty of AD (U_{AD})	Emission (at component level)	Uncertainty of E (U_E)
A	EF_{1A}	U_{EF1A}	AD_{1A}	U_{AD1A}	$E_{1A}=EF_{1A}*AD_{1A}$	$U_{E1A} = \sqrt{U_{EF1A}{}^2 + U_{AD1A}{}^2}$
B	EF_{1B}	U_{EF1B}	AD_{1B}	U_{AD1B}	$E_{1B}=EF_{1B}*AD_{1B}$	$U_{E1B} = \sqrt{U_{EF1B}{}^2 + U_{AD1B}{}^2}$
C	EF_{1C}	U_{EF1C}	AD_{1C}	U_{ADF1C}	$E_{1C}=EF_{1C}*AD_{1C}$	$U_{E1C} = \sqrt{U_{EF1C}{}^2 + U_{AD1C}{}^2}$
Total emission / Propagated uncertainty of **Transition 1**					$E_1=E_{1A}+E_{1B}+E_{1C}$	$U_{E1} = \frac{\sqrt{(E_{1A} \times U_{E1A})^2 + (E_{1B} \times U_{E1B})^2 + (E_{1C} \times U_{E1C})^2}}{\lvert E_{1A} + E_{1B} + E_{1C} \rvert}$

Propagación de incertidumbres con el Método Montecarlo

La propagación de las incertidumbres utilizando el método Montecarlo se realizó de acuerdo a lo indicado del las GBP (2006) del IPCC. Este procedimiento se llevó acabo tanto a nivel de las subcategorías como a nivel de las transiciones.

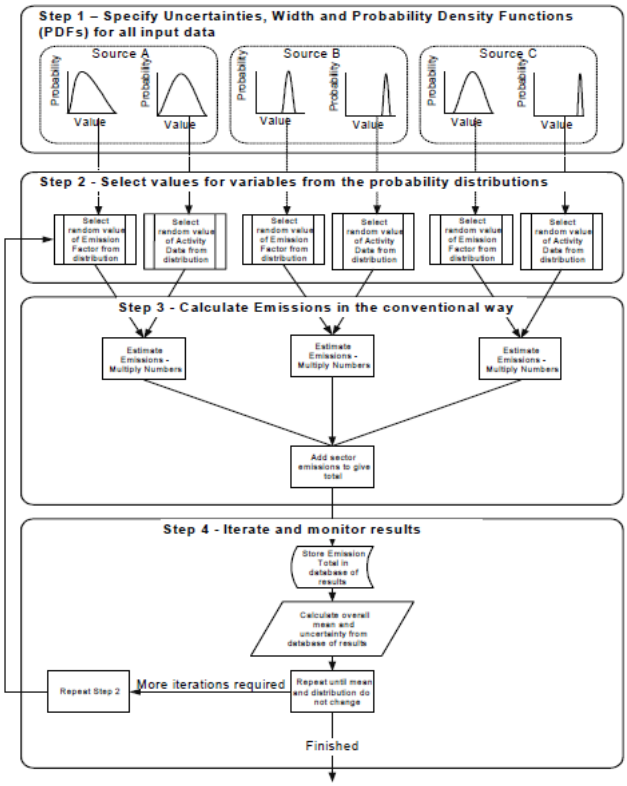

Figura 1. Propagación de incertidumbres con el método analítico

Discusión y Conclusión

La propagación de las incertidumbres de los factores de emisión y absorción puede implementarse de una manera adecuada, transparente y sistemática siguiendo las directrices del IPCC (2006). Específicamente, la aplicación del método analítico (Método 1: Propagación del error) y del método Montecarlo del IPCC permite la propagación de las incertidumbres en todo el proceso de estimación a nivel estatal ya que los métodos fueron flexibles y pertinentes dada la información disponible hasta el momento. De manera particular, con la aplicación del Método 1 se propago la incertidumbre consistentemente en cada estimación de emisiones/absorciones de las subcategorías, agregación de las mismas a nivel de categorías y agregación de las categorías a nivel nacional; a través de una combinación consecutiva del procedimiento de *combinación de las cantidades inciertas por suma y resta* que el método analítico recomienda.

Referencias

- Fortalecimiento REDD+ y Cooperación Sur-Sur[a]. 2014. "Estimación de las Reservas de Carbono en la Biomasa Forestal en México: Protocolo de estratificación". Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas (UNDP). Zapopan, Jalisco, México.
- Fortalecimiento REDD+ y Cooperación Sur-Sur[b]. 2014. "Estimación de las Reservas de Carbono en la Biomasa Forestal en México: Protocolo de estimación de factores de emisión e incertidumbres". Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas (UNDP). Zapopan, Jalisco, México.
- IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston, H.S; Buendia, L; Miwa, K; Ngara, T;

- Velasco-Bautista E., Hugo Ramírez Maldonado, Francisco Moreno Sánchez y Alfonso de la Rosa Vázquez. 2003. Estimadores de razón para el Inventario Nacional Forestal y de Suelos de México. Revista Ciencia Forestal, Vol. 28, núm. 94.Pp 23-43.