

# MÉTODO BASADO EN TELEDETECCIÓN PARA ESTIMAR LA EMISIÓN DE GASES EFECTO INVERNADERO POR QUEMA DE BIOMASA

Jesús Adolfo Anaya Acevedo\*  
Emilio Chuvieco Salinero\*\*  
Alicia Palacios-Orueta\*\*\*

Recibido: 04/08/2010

Aceptado: 04/10/2010

## RESUMEN

La quema de biomasa es una fuente importante de gases efecto invernadero en países en vías de desarrollo. En Colombia, el cambio de uso del suelo, la silvicultura y el sector agropecuario superan el 50% de las emisiones totales de efecto invernadero. El fuego se utiliza con frecuencia como un mecanismo para cambiar el uso del suelo. Los Llanos orientales y la Amazonía colombiana están sometidos todos los años a la quema de biomasa, especialmente entre enero y marzo. Los estudios en la distribución espacial y temporal de las emisiones son importantes de cara a los informes en el ámbito nacional. Este artículo de revisión describe el método para hacer estas estimaciones utilizando teledetección y algunos de los resultados disponibles para Colombia.

**Palabras clave:** emisiones, teledetección, biomasa, área quemada.

\* PhD, Profesor tiempo completo, correo electrónico: [janaya@udem.edu.co](mailto:janaya@udem.edu.co) Universidad de Medellín, Cra 87 #30-65. Medellín-Colombia

\*\* PhD. Profesor catedrático, correo electrónico: [emilio.chuvieco@uah.es](mailto:emilio.chuvieco@uah.es) Universidad de Alcalá Calle Colegios, 2 - 28801 Alcalá de Henares - Madrid - España

\*\*\* PhD. Profesor catedrático, correo electrónico: [alicia.palacios@upm.es](mailto:alicia.palacios@upm.es) Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria, 28040 - Madrid - España

# A REMOTE SENSING METHOD TO ESTIMATE GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM BIOMASS BURNING

## ABSTRACT

Biomass burning is a major source of greenhouse gas emissions in developing countries. In Colombia, land use change, forestry, and agriculture are responsible for more than 50% of the total greenhouse gas emissions. Fire is commonly used as a mechanism for land use change. In Colombia the Llanos Orientales and the Amazonia are subject to biomass burning every year during the dry season, specially from January to March. Studies of the spatial and temporal distribution of emissions are required for emissions report at a national level. The goal of this state of the art article is to describe a method to estimate emissions with a remote sensing approach and to present some of the variables already measured in Colombia.

**Key words:** emissions, remote sensing, biomass, burned area.

## INTRODUCCIÓN

Colombia hizo el inventario nacional de gases efecto invernadero (GEI) para el año 2000 y para el año 2004. En este inventario informa que la agricultura y la energía son los sectores que más aportan. Sin embargo, la suma de la agricultura, el uso y el cambio de uso en el suelo supera el 50% de emisiones de gases efecto invernadero [1]. En este mismo inventario se estima que la emisión de gases efecto invernadero para el año 2004 fue de 180.010 Gigagramos (180.010.000 millones de toneladas métricas) correspondiente al 0,37% de las emisiones globales.

Estudios previos han demostrado que los datos obtenidos por sensores instalados en satélites (teledetección) permiten estimar las emisiones de gases efecto invernadero producidas por quema de biomasa en forma directa [2, 3]. Una gran ventaja de coleccionar datos con satélites es su cobertura global y su alta resolución temporal. Las mediciones directas se fundamentan en las propiedades físicas de dispersión y absorción de los diferentes componentes de las plumas de humo. Las mediciones pueden realizarse con alguno de los siguientes métodos:

- (i) Diferencias en reflectividad entre dos bandas ópticas con diferentes propiedades en dispersión y transmisividad, p. ej. el rojo (0,6-0,7 $\mu$ m) y el azul (0,4-0,5 $\mu$ m). Dado que la absorción en estas dos bandas es similar en la vegetación, las diferencias podrían atribuirse a efectos atmosféricos.
- (ii) Observaciones simultáneas desde dos o más ángulos, lo cual permite determinar la profundidad atmosférica, al comparar la reflectividad de la misma cobertura desde diferentes ángulos de visión.
- (iii) Existen otros métodos que se han utilizado a partir de imágenes NOAA recurriendo no sólo a las bandas visibles (1 y 2) sino también considerando las bandas térmicas [4].

Los métodos indirectos, por su parte, estiman las emisiones por biomasa quemada a través de las

diferentes variables involucradas en el proceso. Un método indirecto para estimación de emisiones es el propuesto por [5], basado en el área quemada, la biomasa y la eficiencia del quemado. Por lo tanto, el objetivo de este modelo es cuantificar con la mayor exactitud posible, las variables involucradas en la generación de emisiones en áreas donde se ha identificado la ocurrencia del fuego. Estudios recientes basados en teledetección han permitido cuantificar algunas de las variables involucradas en las emisiones en los ámbitos regional y global, especialmente en términos de biomasa en el Amazonas [6] o Colombia [7], y área quemada [8]. Las variables involucradas en este método quedan descritas por la ecuación 1 presentada en [5]:

$$M_{i,j,k} = A_{Q_{i,j}} \times B_{i,j,m} \times EQ_{i,j,m} \times E_k \quad (1)$$

Donde,  $M_{i,j,k}$  es la cantidad del gas emitido (con coordenadas  $i,j$ ) en Mg;  $A_Q$  es el área quemada en  $\text{km}^2$  de la misma área ( $i,j$ );  $B$  es la biomasa (materia seca) para la misma área en  $\text{Mg km}^{-2}$  (se asume que el área tiene una cubierta homogénea del tipo de vegetación  $m$ ).  $EQ$  es la eficiencia del quemado (proporción de biomasa consumida) del tipo de vegetación  $m$  ( $a$ -dimensional);  $E_k$  es el factor de emisión, es decir, la cantidad del gas  $k$  emitido por unidad de materia seca quemada ( $\text{g g}^{-1}$ ) obtenido en laboratorio. A continuación se hace una breve discusión en torno al marco teórico existente, sobre lo que implica utilizar este método con datos obtenidos con teledetección.

## 1 DISCUSIÓN

El área quemada, la biomasa y la eficiencia del quemado son variables que han sido estimadas utilizando datos obtenidos por teledetección. Aunque todas las variables son indispensables, el área quemada es el punto de partida para la estimación de las emisiones. La comunidad internacional ha hecho un gran esfuerzo en generar y poner a disposición mapas globales de área quemada ( $A_{Q_{i,j}}$ ) y de

incendios activos [9-11]. Entre ellos vale la pena destacar el proyecto GlobScar, el cual es una iniciativa de la Agencia Espacial Europea (<http://geofront.vgt.vito.be>); el proyecto *Global Burned Area* (GBA2000), promovido por el *Joint Research Center* a partir de datos SPOT/VEGETATION (<http://www.gvm.jrc.it/fire/gba2000/index.htm>); y el proyecto desarrollado dentro del programa MODIS denominado MCD45 [10]. Aunque todos estos productos utilizan información de longitudes de onda de la parte óptica del espectro electromagnético (0,4 – 2,5  $\mu\text{m}$ ), los algoritmos que utilizan son bastante diversos en cuanto a umbrales temporales y umbrales espaciales, lo que conlleva a que cada producto de área quemada tenga fortalezas, debilidades y distintos grados de fiabilidad. La fiabilidad en estos mapas discretos puede obtenerse con matrices de confusión. El promedio anual de área quemada para Colombia basado en el mapa global de área quemada L3JRC [12] y la validación de Anaya et al. [13] es aproximadamente de 21.000  $\text{km}^2$ .

Por otra parte, la biomasa ( $B_{i,j,m}$ ), aunque ampliamente estudiada en campo, aún presenta un alto margen de incertidumbre. Esta variable es continua y, por tanto, se comporta como una superficie (no es discreta), donde la altura de la vegetación es un factor clave en las estimaciones. Las aproximaciones para su estimación se fundamentan en estudios basados en tres rangos del espectro electromagnético: óptico, radar y más recientemente LiDar (*Light Detection And Ranging*). Las estimaciones tanto con ópticas como con radar se han caracterizado por problemas de saturación a partir de cierto umbral, es decir, que ante el aumento en biomasa en zonas de bosques maduros los estimados permanecen constantes. A diferencia de esto, la técnica LiDar ha demostrado su capacidad de reproducir el perfil de la vegetación en zonas con altísimos valores de biomasa. La técnica LiDar en Colombia es muy limitada por la escasez de este tipo de datos y su alto costo. La validación de los estimados de biomasa se fundamenta en la correlación de inventarios de campo (especialmente

forestales) con los datos estimados por teledetección. Un estudio de este tipo para Colombia puede encontrarse en Anaya et al. [7].

Una vez determinada la extensión del área que ha sido quemada y el potencial de biomasa que puede quemarse, es indispensable estimar cuánta biomasa realmente se quema, es decir, la eficiencia del quemado ( $EQ_{i,j,m}$ ). Una parte realmente no se quema y otra se quema pero no se emite, y permanece en forma de cenizas o carbono elemental. El carbono elemental no se considera como una emisión neta de  $\text{CO}_2$  [14]. La medición de esta variable en campo es un gran reto, dado que generalmente no se tienen valores de biomasa antes de la ocurrencia del fuego en la zona que se ha quemado. Por fortuna existen algunos estudios con quemas controladas que han permitido determinar la eficiencia del quemado para distintos ecosistemas: bosques tropicales [15-17]; zonas de sabana [18, 19], y zonas de sabana arbolada [20]. Las aproximaciones desde la teledetección para estimar esta variable se fundamentan en la estimación de la humedad del combustible y la proximidad de la vegetación a sus mínimos históricos en verdor. Este último asume que la vegetación menos húmeda o menos verde se quema en mayor proporción.

## 2 CONCLUSIONES

Con datos obtenidos con técnicas de teledetección y los valores obtenidos en laboratorio de Factores de Emisión ( $E_{k,i}$ ) [5], es posible hacer una aproximación a la emisión de gases efecto invernadero por quema de biomasa. Cada una de las variables puede ser estimada con la resolución temporal y espacial adecuada para hacer los estimados nacionales.

Grupos de investigación de Estados Unidos y Europa han generado datos diarios de áreas quemadas con amplia documentación y es quizá la variable de más fácil valoración en términos de fiabilidad; por el contrario, los mapas de biomasa son de carácter local, escasos y con altísima incertidumbre. En el caso de Colombia, es necesario

mejorar los estudios de campo por teledetección de biomasa, validar mapas de área quemada y ajustar los valores de factores de emisión a las condiciones de la vegetación local.

Dado que los productos de área quemada se generan a partir de longitudes de onda de la parte óptica del espectro electromagnético es de esperar que se omita mucha información, debido al efecto de las nubes. Las áreas de páramo y los bosques de niebla, por ejemplo, tienen una alta cobertura de nubes a lo largo del año y juegan un papel fundamental en las emisiones de gases efecto invernadero por su posición altitudinal.

Con el fin de caracterizar mejor las emisiones es necesario hacer análisis cuantitativos de las fuentes de error de los mapas de área quemada, aumentar inventarios de biomasa para diferentes ecosistemas y mejorar los factores de emisión para los diferentes tipos de vegetación en el país.

## REFERENCIAS

- [1] IDEAM, «Segunda comunicación nacional de Colombia ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático,» Energía, ed., IDEAM. Bogotá D.C., 2008, p. 22.
- [2] A. F. Arellano *et al.*, “Top-down estimates of global CO sources using MOPITT measurements,” *Geophysical research letters*, vol. 31, L01104, 2004.
- [3] G. R. van der Werf *et al.*, “Interannual variability of global biomass burning emissions from 1997 to 2004,” *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, vol. 6, pp. 3423-3441, 2006.
- [4] P. Gong *et al.*, “An Integrated Approach to Wildland Fire Mapping of California, USA Using NOAA/AVHRR Data,” *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 72, no. 2, pp. 139-150, 2006.
- [5] W. Seiler, y P. J. Crutzen, “Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning,” *Climate Change*, vol. 2, pp. 207-247, 1980.
- [6] S. S. Saatchi *et al.*, “Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin,” *Global Change Biology*, vol. 13, pp. 816-837, 2007.
- [7] J. A. Anaya *et al.*, “Aboveground biomass assessment in Colombia: A remote sensing approach,” *Forest Ecology and Management*, vol. 257, no. 4, pp. 1237-1246, 2009.
- [8] L. Boschetti *et al.*, “A Sampling Method for the Restrospective Validation of Global Burned Area Products,” *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 44, pp. 1765-1772, 2006.
- [9] J. M. Gregoire *et al.*, “The GBA2000 initiative: developing a global burnt area database from SPOT-VEGETATION imagery,” *International Journal of Remote Sensing*, vol. 24, no. 6, pp. 1369-1376, 2003.
- [10] D. Roy *et al.*, “MODIS Collection 5 Burned Area Product MCD45 User’s Guide,” USGS, University of Maryland, pp. 12, 25 June 2008, 2006.
- [11] M. Simon *et al.*, “Burnt area detection at global scale using ATSR-2: The GLOBSCAR products and their qualification,” *Journal of Geophysical Research*, vol. 109, no. D14S02, pp. 1-16, 2004.
- [12] K. Tansey *et al.*, “L3JRC - A global, multi-year (2000-2007) burnt area product (1 km resolution and daily time steps),” presentado en Remote Sensing and Photogrammetry Society Annual Conference 2007, Newcastle upon Tyne, UK, 2007.
- [13] J. Anaya *et al.*, “Validación para Colombia de la estimación de área quemada del producto L3JRC para el período 2001-2007,” *Actualidades Biológicas*, vol. 32, no. 92, pp. 29-40, 2010.
- [14] P. J. Crutzen, y M. O. Andreae, “Biomass Burning in the Tropics: Impact on Atmospheric Chemistry and Biogeochemical Cycles,” *Science*, vol. 250, no. 4988, pp. 1669-1678, 1990.
- [15] J. A. Carvalho *et al.*, “Combustion completeness in a rainforest clearing experiment in Manaus, Brazil,,” *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, vol. 103, no. D11, pp. 13195-13199, 1998.
- [16] P. M. Fearnside *et al.*, “Tropical forest burning in Brazilian Amazonia: measurement of biomass loading, burning efficiency and charcoal formation at Altamira, Para,” *Forest Ecology and Management*, vol. 123, no. 1, pp. 65-79, 1999.
- [17] P. M. Fearnside *et al.*, “Burning of Amazonian rainforests: burning efficiency and charcoal formation in forest cleared for cattle pasture near Manaus, Brazil,” *Forest Ecology and Management*, vol. 146, no. 1-3, pp. 115-128, 2001.

- [18] S. J. McNaughton *et al.*, "Combustion in natural fires and global emissions budgets," *Ecological Applications*, vol. 8, no. 2, pp. 464-468, 1998.
- [19] C. Hély *et al.*, "SAFARI-2000 characterization of fuels, fire behavior, combustion completeness, and emissions from experimental burns in infertile grass savannas in western Zambia," *Journal of Arid Environments*, vol. 54, no. 2, pp. 381-394, 2003.
- [20] R. W. Shea *et al.*, "Fuel biomass and combustion factors associated with fires in savanna ecosystems of South Africa and Zambia," *Journal of Geophysical Research*, vol. 101, no. D19, pp. 23551-23568, 1996.