



El Centro de Cambio Global UC se encuentra monitoreando un espinal dominado por condiciones climáticas mediterráneas. La importancia de este estudio radica en resolver si en el futuro este ecosistema se comportará como fuente o sumidero neto de gases de efecto invernadero.

Monitoreo de flujos de carbono y de vapor de agua

El futuro de la cuenca de río Maipo

Felipe Bravo¹, Nicolás Raab¹ y Francisco Meza^{1, 2}

El ciclo del carbono es vital en el mantenimiento de la biósfera. A través de la captura del carbono mediante la fotosíntesis es posible alimentar prácticamente todas las formas de vida que hoy conocemos. Su liberación a la atmósfera por la vía de la respiración o combustión (oxidación), hacen posible la vida en el planeta, ya que este gas contribuye a que la Tierra mantenga una temperatura adecuada para el funcionamiento de los procesos biológicos.

A nivel global, el carbono se encuentra concentrado en cuatro grandes sis-

temas o reservorios: el océano, donde se encuentra prácticamente el 92% del carbono disuelto como bicarbonato; el suelo, que con cerca del 4% es el mayor reservorio de carbono en tierra firme, bajo forma de carbonato y materia orgánica; la atmósfera, la cual representa el 1,8% del carbono global bajo la forma de dióxido de carbono (CO_2); y, finalmente, la biósfera, representando algo más del 1,5% del carbono almacenado principalmente en los bosques del planeta.

La actividad humana ha alterado los

¹ Departamento de Ecosistemas y Medio Ambiente.
² Director del Centro de Cambio Global – UC.

flujos naturales de carbono y sus reservorios en la tierra. El aumento de las concentraciones de CO₂ atmosférico a través de la quema de combustibles fósiles, sumado a la liberación de este gas producto del cambio de uso de suelo, aportan una fuente anual del orden de ocho mil millones de toneladas, monto muy superior a la actividad conjunta que pueden realizar océanos y bosques secuestrando este gas desde la atmósfera. Este hecho ha provocado un aumento de la concentración de CO₂ atmosférico por sobre los 380 ppm, promoviendo el calentamiento global, debido al ya conocido efecto invernadero.

Las repercusiones del efecto invernadero a través del balance de energía y cambio climático han despertado una gran preocupación por parte de la comunidad científica y líderes políticos alrededor del mundo. La mitigación del cambio climático, entendida como todas las acciones destinadas a alterar la trayectoria del incremento de los gases de efecto invernadero (entre ellos el dióxido de carbono), ha tomado un lugar preponderante en la agenda. Es por esta razón que se han destinado esfuerzos científicos para conocer el comportamiento del ciclo del carbono a escala global, mejorando la comprensión de los sumideros y de los procesos que influyen sobre la captura o asimilación del carbono atmosférico.

Monitoreo ambiental

Investigaciones ligadas al intercambio de CO₂ entre la atmósfera y biósfera han adquirido cada vez mayor relevancia. En la actualidad existen numerosos lugares del mundo donde se están estudiando y caracterizando dichos intercambios (Ver Figura 1), con el objetivo de detectar y cuantificar las fuentes y sumideros de los constituyentes atmosféricos tales como el CO₂ y el vapor de agua.

Prueba de la importancia de realizar balances de carbono a escala global y regional, en el año 1996, un grupo de

TABLA I
Balance anual de CO₂ en distintos ecosistemas mundiales mediante la técnica eddy covariance.

Ecosistema	País o ciudad	Intercambio neto anual de CO ₂ (t C ha ⁻¹)	Fuente
Bosque de coníferas subalpino	Colorado, EE.UU.	-0.7 ± 0.2	(Monson et al., 2002)
Bosque de coníferas templado	Washington, EE.UU.	-1.7 ± 0.3	(Paw U et al., 2004)
Sabana tropical abierta	Australia	0.35 ± 0.2	(Hutley, Leuning, Beringer, & Cleugh, 2005)
Bosque tropical abierto	Australia	-1.17 ± 0.6	(Hutley et al., 2005)
Plantación de eucalipto en condiciones mediterráneas	Portugal	-6.3 ± 3.2	(Pereira et al., 2007)
Bosques caducifolios	Alemania	-4.9 ± 0.02	(Knobl, Schulze, Kolle, & Buchmann, 2003)
Bosque mediterráneo de encinos	Portugal	-0.8 ± 0.7	(Pereira et al., 2007)
Pastizales anuales	California, USA.	-0.5 ± 1.1	(Xu & Baldocchi, 2004)
Matorral mediterráneo	Almería, España	-0.1 ± 0.3	(Serrano-Ortiz et al., 2009)

Nota: El signo negativo corresponde a secuestro de carbono atmosférico. Valores expresados en promedios más menos desviación estándar.

Fuente: Elaboración propia.

científicos ligados a la Ecología, Micrometeorología, Biología y Fisiología Vegetal, se reunieron en Italia y desarrollaron un plan para ejecutar una red global encargada de realizar mediciones de los intercambios de CO₂ y vapor de agua a largo plazo, dando origen así a FLUXNET.

FLUXNET es una red internacional de estaciones micrometeorológicas que realiza mediciones de intercambios de dióxido de carbono, vapor de agua y energía entre la biósfera y atmósfera, a través de la técnica eddy covariance. Esta técnica cuantifica los movimientos verticales del viento que provocan cambios en la concentración de CO₂, de tal manera que el intercambio neto de CO₂ (FN) es medido como el balance neto entre la fotosíntesis por parte de la canopia (FA) y la respiración del ecosistema (FR). Valores negativos de FN representan una pérdida de CO₂ de la atmósfera y ganancia por la superficie en estudio. De suceder esto, el ecosistema en estudio puede categorizarse como un sumidero de carbono.

En la actualidad, FLUXNET está presente en más de 500 sitios con torres

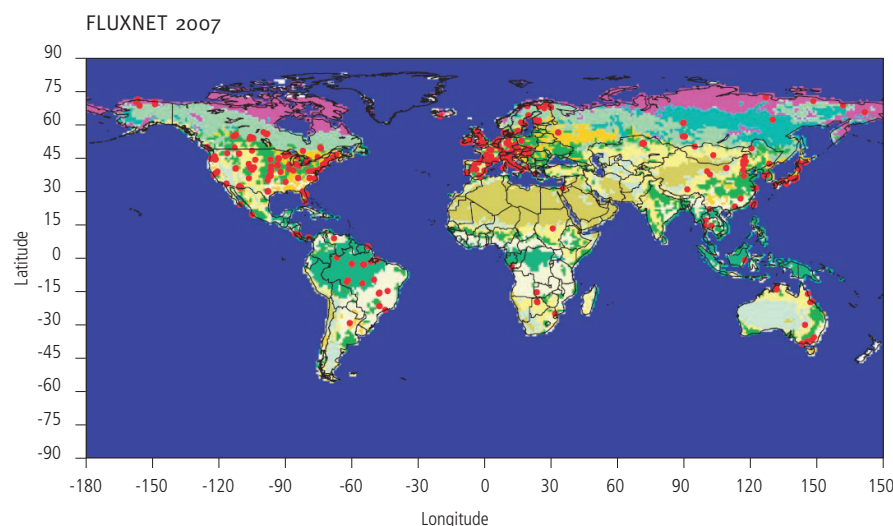
de eddy covariance operando continuamente, incluyendo un amplio rango de ecosistemas entre los que destacan bosques de coníferas, deciduos y siempreverdes, tropicales y boreales, cultivos, pastizales, matorrales, humedales y tundra (ver la Tabla 1 con balances anuales por cada ecosistema).

La distribución inicial de esta red apuntaba a descubrir los mayores sumideros de carbono, por lo que los ecosistemas mediterráneos y semiáridos pasaron a un segundo plano, producto de sus conocidas limitaciones para la fotosíntesis, a pesar de que, en conjunto, representan cerca del 46% de la superficie terrestre.

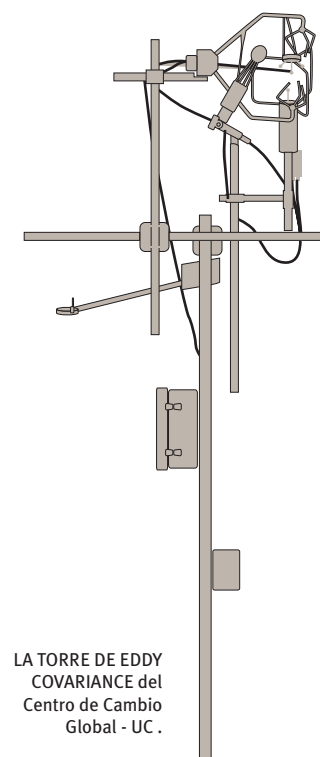
Rol y funcionamiento del espinal mediterráneo de Chile

El Centro de Cambio Global UC cuenta con una torre de eddy covariance, con el fin de monitorear los flujos de carbono, energía y vapor de agua a largo plazo y que prontamente pasará a formar parte de FLUXNET. Esta torre se encuentra situada en un espinal de *Acacia caven* (Mol), 40 kilóme-

FIGURA 1. Representatividad mundial de torres de eddy covariance en el mundo para el año 2007.



Fuente: (Baldocchi, 2008).



tros al norte de la ciudad de Santiago, dominado por condiciones climáticas mediterráneas. Este ecosistema es representativo de la zona central de Chile, desarrollándose entre las regiones de Coquimbo y Biobío cubriendo más de dos millones de hectáreas.

La importancia de cuantificar los flujos de CO_2 de este ecosistema no radica sólo en la relevancia territorial, sino que también resulta vital para entender sus dinámicas en zonas donde la escasez de recursos hídricos es un factor limitante para los procesos biológicos, desde el funcionamiento de bosques a sistemas agrícolas. Por otro lado, comprender las respuestas de este tipo de ecosistemas, frente a los factores ambientales característicos de las zonas mediterráneas, entregaría valiosa información para modelar el efecto que tendría un alza en las temperaturas y una disminución en las precipitaciones sobre el balance de carbono.

Para los investigadores del Centro de Cambio Global y miembros del Departamento de Ecosistemas y Medio Ambiente de la Facultad, resulta de vital

importancia monitorear la evolución de estos ecosistemas, determinando sus actuales tasas de intercambio gaseoso de CO_2 y vapor de agua y resolver si en el futuro éstos se comportarán como fuentes o sumideros netos de gases de efecto invernadero.

Resultados obtenidos e implicancias

La torre de eddy covariance del Centro de Cambio Global - UC está instalada en el espinal desde octubre de 2010 y es monitoreada por estudiantes de postgrado asociados al Centro. Los primeros resultados entregados han sido expuestos en el VII Summer Colloquium on Plant Ecophysiology y en The 30th Conference on Agricultural and Forest Meteorology.

En el primero de estos congresos, se entregaron detalles acerca de la temporalidad de los flujos de CO_2 . Éstos tienen una marcada diferencia cuando se activa el crecimiento de pastos y hierbas, momento que se asocia con las máximas tasas de fijación del eco-

sistema ($F_N = -7 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Para el resto de la temporada, se mantiene una tasa constante de fijación diaria de alrededor de $-1 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, influida principalmente por las características semidecíduas de las hojas de *Acacia caven*.

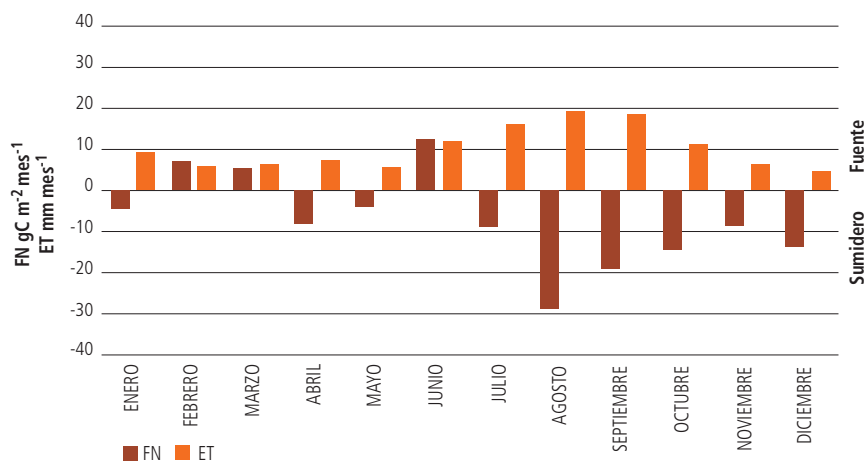
En el segundo congreso internacional mencionado, se mostró la importancia del nivel de estrés de este ecosistema evaluada a través de la conductancia estomática, fenómeno que ocurre a nivel de hoja y que presenta serias repercusiones en los intercambios de CO_2 y vapor de agua.

Actualmente, los estudiantes de postgrado ligados al Centro de Cambio Global trabajan en la determinación del balance de carbono y vapor de agua, además de modelos biofísicos, que permitan evaluar la sensibilidad del intercambio gaseoso de esta especie frente a los efectos del cambio climático.

En la Figura 2, se presenta la evolución mensual del intercambio gaseoso para el año 2011. El resultado arrojó que el espinal es capaz de comportar-

FIGURA 2. Intercambios gaseosos mensuales para el año 2011 a nivel de ecosistema en el espinal mediterráneo.

Comportamiento mensual de intercambio de CO₂ y vapor de agua



se como un sumidero de carbono de $-0.83 \text{ t C ha}^{-1}$, valor que supone debiera crecer en años hidrológicos normales, puesto que el 2011 ha sido categorizado como uno de los más secos de las últimas tres décadas. Para el caso del vapor de agua, evaluado a través de la evapotranspiración (ET), se obtuvo que el espinal evaporó un total equivalente a 123 mm, prácticamente 20 mm más que el agua caída en el sitio de estudio, lo que refleja que posiblemente esta especie es capaz de aprovechar fuentes de agua ajenas a las lluvias de invierno almacenada en las profundidades del suelo.

El futuro de la vegetación de la cuenca del río Maipo permanece incierto. Una disminución en las precipitaciones podría terminar con la capacidad de estos ecosistemas de ser sumideros netos de carbono, sin embargo, estos bosques a lo largo del tiempo han demostrado una increíble capacidad de adaptación y resiliencia, transformándolos en excelentes candidatos para hacer frente a las condiciones climáticas que se esperan.

Desafíos futuros

El Centro de Cambio Global – UC trabaja en un nuevo proyecto Fondecyt titulado “Modelo integrado de estimación de evapotranspiración real basado en imágenes satelitales, modelos numéricos atmosféricos y observaciones de superficie”. Este consiste en realizar estimaciones de las demandas de agua a través de la técnica eddy covariance sobre cultivos agrícolas y además calibrar dichas observaciones de terreno con estimaciones a través de imágenes satelitales. Este desafío implica el trabajo multidisciplinario, característico del centro y pretende entregar herramientas que permitan determinar la huella hídrica en la agricultura.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada a través de los proyectos Fondecyt N° 1090393 y N° 1060544, además del proyecto INNOVA CORFO N° 09CN14-5704 Fortalecimiento de Capacidades para enfrentar el Cambio Global en Chile. 

REFERENCIAS

- Baldocchi, D.** (2008). TURNER REVIEW No. 15. 'Breathing' of the terrestrial biosphere: lessons learned from a global network of carbon dioxide flux measurement systems. *Australian Journal of Botany*, 56(1), 1–26.
- Hutley, L. B., Leuning, R., Beringer, J., & Cleugh, H. A. (2005). The utility of the eddy covariance techniques as a tool in carbon accounting: tropical savanna as a case study. *Australian Journal of Botany*, 53(7), 663–675.
- Knohl, A., Schulze, E. D., Kolle, O., & Buchmann, N.** (2003). Large carbon uptake by an unmanaged 250-year-old deciduous forest in Central Germany. *Agricultural and Forest Meteorology*, 118(3–4), 151–167. doi:10.1016/S0168-1923(03)00115-1
- Monson, R. K., Turnipseed, a. a., Sparks, J. P., Harley, P. C., Scott-Denton, L. E., Sparks, K., & Huxman, T. E.** (2002). Carbon sequestration in a high-elevation, subalpine forest. *Global Change Biology*, 8(5), 459–478. doi:10.1046/j.1365-2486.2002.00480.x
- Paw U, K., Falk, M., Suchanek, T., Ustin, S., Chen, J., Park, Y.-S., Winner, W., et al.** (2004). Carbon Dioxide Exchange Between an Old-growth Forest and the Atmosphere. *Ecosystems*, 7(5), 513–524. doi:10.1007/s10021-004-0141-8
- Pereira, J., Mateus, J., Aires, L., Pita, G., Pio, C., David, J., Andrade, V., et al.** (2007). Net ecosystem carbon exchange in three contrasting Mediterranean ecosystems? the effect of drought. *Biogeosciences*, 4(5), 791–802.
- Serrano-Ortiz, P., Domingo, F., Cazorla, a., Were, a., Cuezva, S., Villagarcía, L., Alados-Arboledas, L., et al.** (2009). Interannual CO₂ exchange of a sparse Mediterranean shrubland on a carbonaceous substrate. *Journal of Geophysical Research*, 114(G4), 1–11. doi:10.1029/2009JG000983
- Xu, L., & Baldocchi, D. D.** (2004). Seasonal variation in carbon dioxide exchange over a Mediterranean annual grassland in California. *Agricultural and Forest Meteorology*, 123(1–2), 79–96.