

# VARIABILIDAD ESTACIONAL DE FLUJOS DE CARBÓN EN UN PINAR DE *Pinus halepensis* MILLER

M.J. Sanz, P. Cámara, S. Cosin, E. Moors\*, \*J. Elbers\* & \*H. Dolman\*

Fundación CEAM. \*ALTEERRA

## Resumen

El secuestro de CO<sub>2</sub> por los ecosistemas vegetales terrestres constituye un componente importante en el balance global de Carbono. La determinación de los flujos de CO<sub>2</sub> en ecosistemas forestales utilizando sistemas de “eddy covariance” es una herramienta que puede ayudar con un coste no muy elevado a determinar la capacidad y dinámica en el secuestro de CO<sub>2</sub>. El objetivo del proyecto MEDEFU, que se desarrolló en el marco de la red europea EUROFLUX, consistió en determinar la fijación de CO<sub>2</sub> de algunos de estos ecosistemas y su oscilación a lo largo del año. Durante 1998-1999 se han medido los flujos CO<sub>2</sub>, vapor de agua y energía en el Parque Natural de la Albufera (Valencia), los datos obtenidos hasta Octubre de 1999 nos permiten estimar que la fijación del carbono en el área de matorral arbolado del Parque es de 89 g C m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>.

## INTRODUCCIÓN

El secuestro de CO<sub>2</sub> por los ecosistemas vegetales terrestres constituye un componente importante en el balance global de Carbono. A escala mundial, la biosfera terrestre se considera que fija cerca de 2 Gt año<sup>-1</sup>, este valor es el resultante de la pequeña diferencia entre la absorción fotosintética de CO<sub>2</sub>

y las pérdidas por respiración, descomposición de la materia orgánica y perturbaciones de diferente naturaleza (STEFFEN *et al.* 1998), y se denomina producción neta de la biosfera (PNB). Siendo la cantidad que a largo plazo queda almacenada como “stock”. Mientras que globalmente la fijación de C es del orden de 120 Gt año<sup>-1</sup>, es lo que se denomina producción primaria bruta (PPB). Además, a lo largo del año se observan en general grandes fluctuaciones en la fijación/emisión del C por parte de los sistemas forestales debidas a los cambios en las condiciones ambientales. Estimaciones del intercambio neto de C oscilan entre 8 y 44 mol m<sup>-2</sup>, según se trate de bosques tropicales o bosques de planifolios de hoja caduca en zonas templadas (GRACE *et al.* 1995; GRECO & BALDOCCHI, 1996). Sin embargo no sólo existe una considerable variación entre diferentes tipos de bosque sino también entre similares formaciones boscosas en diferentes latitudes (JARVIS 1998, GOULDEN *et al.* 1996, HANAN *et al.* 1998, VALENTINI *et al.* 2000). Todo ello pone de manifiesto que para determinar de forma precisa el balance de carbón a escala global, es necesaria la obtención de información para diferentes tipos de bosques o formaciones vegetales, a diferentes altitudes y condiciones climáticas. La observación de los flujos de CO<sub>2</sub> en ecosistemas forestales utilizando sistemas de “eddy covariance” es una herramienta que puede ayudar con un coste no muy

elevado en la adquisición de esta información. Es por ello que se han constituido redes de este tipo de sistemas en Norte América (AMERIFLUX) y Europa (EUROFLUX, CARBOEUROFLUX), que junto con otras localizaciones en otros continentes constituyen un consorcio a escala mundial denominado FLUXNET, en el seno del cual se intercambia información y se trabaja con metodología similar (MONTCRIEFF et al. 1996, AUBINET et al. 2000).

Recientes estudios han mostrado que los bosques boreales y tropicales muestran una capacidad de secuestro no muy elevada (GRACE et al. 1996, BALCK et al. 1996). Por otra parte, las zonas templadas se muestran mucho más eficientes en este sentido (VALENTINI et al. 1996), poniendo de manifiesto las marcadas diferencias latitudinales antes mencionadas. Sin embargo, no se conoce cual es la capacidad de secuestro de los ecosistemas mediterráneos. El objetivo del proyecto MEDEFU, que se desarrolló en el marco de la red europea EUROFLUX, consistió en determinar la fijación de CO<sub>2</sub> de algunos de estos ecosistemas y su oscilación a lo largo del año. Uno de los ecosistemas elegidos fue un pinar de pino carrasco en las cercanías de Valencia, a continuación se presentan los resultados del primer ciclo anual de mediadas.

## METODOLOGÍA

Se realizaron medidas en dos zonas de la Dehesa del Saler (Parque Natural de la Albufera, Valencia), así como en una zona de arrozal cercana con ánimo de comparar este bosque con las zonas de cultivos circundantes. La zona esta situada en la costa Este de la Península, unos 20 Km al sur de Valencia, cerca del lago costero denominado "La Albufera". El clima es Mediterráneo subárido con veranos secos y cálidos, puede considerarse como un clima mesotérmico semiárido con poco exceso de agua en verano. La altitud oscila entre 0 a 5 m.s.m. La zona se encuentra ubicada en suelo ligeramente ondulado debido a la existencia de dunas de arena, esto corresponde a una barrera costera

entre el lago y el mar de unos 700 m de ancho. El área de cultivos de arroz circunda el lago y se extiende varios Km hacia el interior. La llanura costera donde se encuentra la zona es una llanura del Cuaternario, con materiales pertenecientes mayoritariamente al periodo del Holoceno. El suelo es arenoso, con un 60-70% de arena fina, 20-30% de limo y un bajo porcentaje de arcilla en la zona superior de unos 10 cm de profundidad. La mayor parte de la zona esta cubierta con matorral alto (1-2 m) y en gran parte acompañado por árboles (*Pinus halepensis* de 10 a 12 m). La especie de pino dominante es el *P. halepensis*, mezclado con dispersados *Pinus pinea*. Los arboles cercanos a la torre son pino de carrasco de unos 13 m de altura y de entre 50 a 100 años. La principales especies de matorral son *Quercus coccifera*, *Rhamnus alaternus*, *R. lycioides*, *Pistacia lentiscus*, *Smilax aspera*, *Ruscus aculeatus*, *Phyllirea angustifolia*, *Myrtus comunis*, *Erica multiflora*, *Osirys quadripartita*, *Chamaerops humilis*, *Cistus albidus* y *C. salvifoliosus*, entre otras.

**Zona principal (matorral arbolado):** La torre en la que se realizan las medidas se encuentra ubicada a 39° 20'41.165" N y 0°19'12.031" W (2.8 m.s.m.). Se trata de una de las zonas de arbolado más densas.

**Zona 2 (matorral):** Durante las dos primeras semanas del mes de Junio sistema móvil perteneciente a ALTERRA fue instalado en una zona abierta cercana a la zona principal, a 1.1 Km. al sur-este. La vegetación estaba constituida por un matorral denso de 1 a 1.5 m de altura. Las especies principales eran: *Quercus coccifera*, *Rhamnus lycioides*, *Pistacia lentiscus*, *Smilax aspera*, *Ruscus aculeatus*, *Phyllirea angustifolia*, *Myrtus comunis*, *Erica multiflora*, *Osirys quadripartita*, *Chamaerops humilis*, *Cistus albidus*, y *Halimium halimifolium*. En la segunda quincena de Junio de 1999 se realizaron medidas en las zonas de arrozal circundantes al lago.

**Instrumentación:** Un andamio de 13.4 m. fue emplazado en la zona principal en Septiembre de 1998, en el cual todos los instrumentos fueron instalados. El equipamiento del andamio terminó el 10 de Febrero. El

sistema mide flujos de calor sensible, calor latente, agua y CO<sub>2</sub>. Un anemómetro ultrasónico Gill 3D fue instalado en la parte superior de un mástil en una esquina del andamio, mandando este una salida digital al ordenador Palmtop ubicado en una caja cerrada instalada cerca del mástil. El muestreo se realiza a 15.84 m de altura. El anemómetro ultrasónico proporciona una salida de 20 Hz de las tres componentes de velocidad del viento y la velocidad del sonido. A partir de esta velocidad se puede calcular la temperatura virtual del aire. El mástil asciende neumáticamente y puede fijarse a distintas alturas fácilmente. El anemómetro ultrasónico posee cinco entradas analógicas de 10 Hz dos de las cuales van conectadas a un analizador de gases por infrarrojo (Li-Cor 6262) que proporciona las medidas de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. La toma de muestras de aire se realiza a través de un tubo de 4 mm de diámetro interior, el cual se encuentra cercano al anemómetro, este aire es conducido al analizador de gases con un caudal de 8 l/min. La calibración del canal de CO<sub>2</sub> se realiza empleando nitrógeno comprimido seco y una botella de CO<sub>2</sub> de calibración. La calibración del canal de H<sub>2</sub>O se realiza empleando nitrógeno comprimido seco y un higrómetro de punto de rocío (Li-Cor 610). El sistema entero es alimentado mediante baterías alimentadas por paneles solares.

El sistema móvil que operó en la zona 2 y el arrozal en Junio de 1999 consiste en un pequeño mástil que asciende neumáticamente, con un anemómetro sónico (Gill Instruments, 1012R2), un higrómetro Krypton de sistema abierto (Campbell Scientific KH2O) y un tubo de toma de muestra para un analizador de gases por infrarrojo (IRGA) (Li-Cor 6262) en lo alto. El IRGA se encuentra en una caja ubicada en el suelo, la cual cuenta con un Palmtop PC, un disco duro PCMCIA, una bomba para muestrear y otros periféricos. Las salidas analógicas del IRGA son conectadas a las entradas analógicas del sónico. El sistema se encuentra alimentado por baterías las cuales son mantenidas mediante paneles solares, y es por tanto posible realizar medidas durante largos periodos de tiempo. El centro del sónico

se encuentra a una altura de 4.7 m sobre el suelo. La toma de muestra de aire se realiza a través de un tubo (Teflón, 4 mm de diámetro interior, y 7 m de largo) a 8 l/min.

Los datos almacenados son procesados empleando el programa EDDYWSC, este software fue inicialmente desarrollado y testado en íntima cooperación con University of Edinburgh, the Institute of Hydrology, the Wageningen Agricultural University y la University of Copenhagen en el seno del proyecto EUROFLUX.

La zona de **matorral arbolado** se encuentra equipada además con dos sensores de flujo de calor de suelo (G), ubicados a 0.5 cm de profundidad, un sensor de radiación global (Rg), de PAR y radiación neta (Rn) (ubicados a una altura de 13.4 m). El andamio se encuentra también provisto de sensores de temperatura del aire en un gradiente en altura (2.6 m, 4.7 m, 9 m, y 12.6 m), el cual se emplea para estimar la acumulación de calor en la vegetación, también se cuenta con dos sensores de humedad del aire colocados a 5 y 13 m de altura. Para medir la cantidad de precipitación se cuenta con un pluviómetro de balancín, colocado a 13.4 m de altura. Los distintos sensores se encuentran conectados a dos dataloggers. La estación móvil, en la zona de **matorral (zona 2)**, contó también con medidas de radiación neta, radiación incidente y reflejada, temperatura del suelo y flujos de calor del suelo.

## RESULTADOS

**Calidad de los datos:** La figura 1 (ver en color en pág. 134) representa un diagrama polar del "fetch" (área de la que proceden el conjunto de los flujos medidos en un determinado periodo) en función de la distancia de la torre. Cuando las condiciones son inestables o neutras, el 80 % de los flujos provienen de unos 300 m de distancia, ello indica que se están midiendo mayoritariamente flujos del área arbolada y por tanto nuestro "fetch" es aceptable.

La calidad de los datos del sistema para medir flujos turbulentos ("eddy covariance")

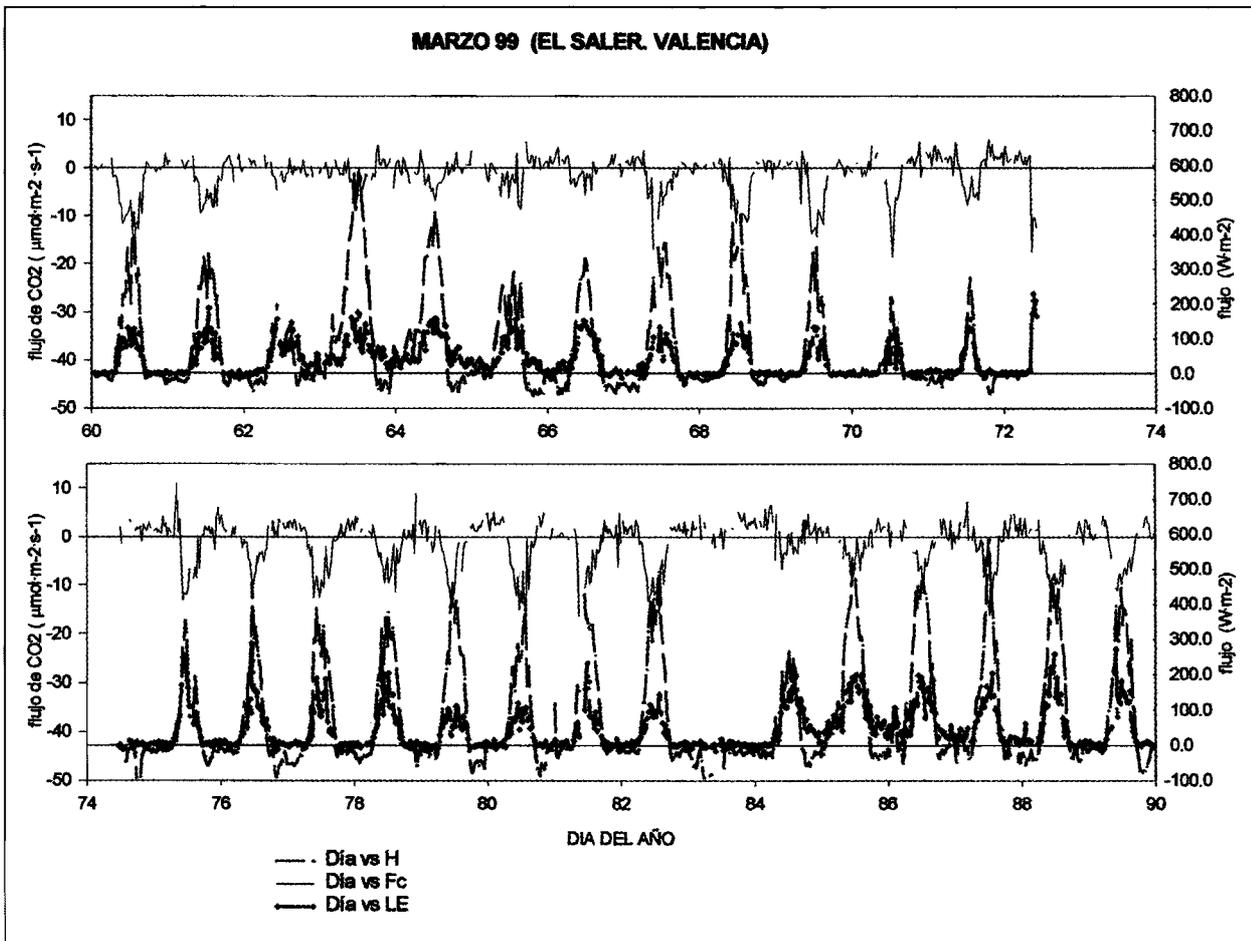


Figura 3. Flujos de  $\text{CO}_2$  ( $F_c$ ), de calor sensible ( $H$ ) y de calor latente ( $LE$ ), en la zona principal de matorral arbolado en Junio de 1999.

puede comprobarse con el cierre del balance de energía. Utilizando la expresión  $R_n = H + LE + G$  se puede representar el cierre de balance de energía para la zona principal, siendo  $H$  el calor latente,  $LE$  el calor sensible y  $G$  el flujo de calor del suelo. Se observa una buena relación entre ambos términos ( $r^2 = 0.896$ ) cuando se utilizan todos los datos disponibles (un año, Figura 2, en color en pág. 135), pero la pendiente de 0.91, indica una pérdida del flujo de energía del 9% de la radiación neta. Puesto que el cierre de balance de energía para un largo período de tiempo es bueno, se puede asumir que el sistema funciona correctamente. Es interesante mencionar que cuando los datos para distintas direcciones de vientos son tratados separadamente, se consigue una mejora del cierre de balance de energía cuando los vientos proce-

den del buen "fetch" (condiciones inestables,  $r^2 = 0.96$ , pendiente = 1.06). Sin embargo, si los vientos proceden del lago o del mar el cierre no es tan bueno (condiciones estables,  $r^2 = 0.70$ , pendiente = 0.64). El cierre del balance de energía en la zona 2 y el arrozal para Junio fue similar.

**Flujos:** Los flujos de carbón, agua y energía se han estimado en la zona principal entre el 26/9/98 y al 26/9/99. La Figura 3 y 4 muestran dos ejemplos de la evolución diaria de los flujos de  $\text{CO}_2$  ( $F_c$ ),  $H$  y  $LE$  para Marzo y Junio de 1999 respectivamente. Los flujos de la primera quincena de marzo son inferiores a los de la segunda semana, mientras que en Junio se observan flujos de  $\text{CO}_2$  ( $F_c$ ) mucho más regulares a lo largo de todo el mes. El orden de magnitud es similar los días en que

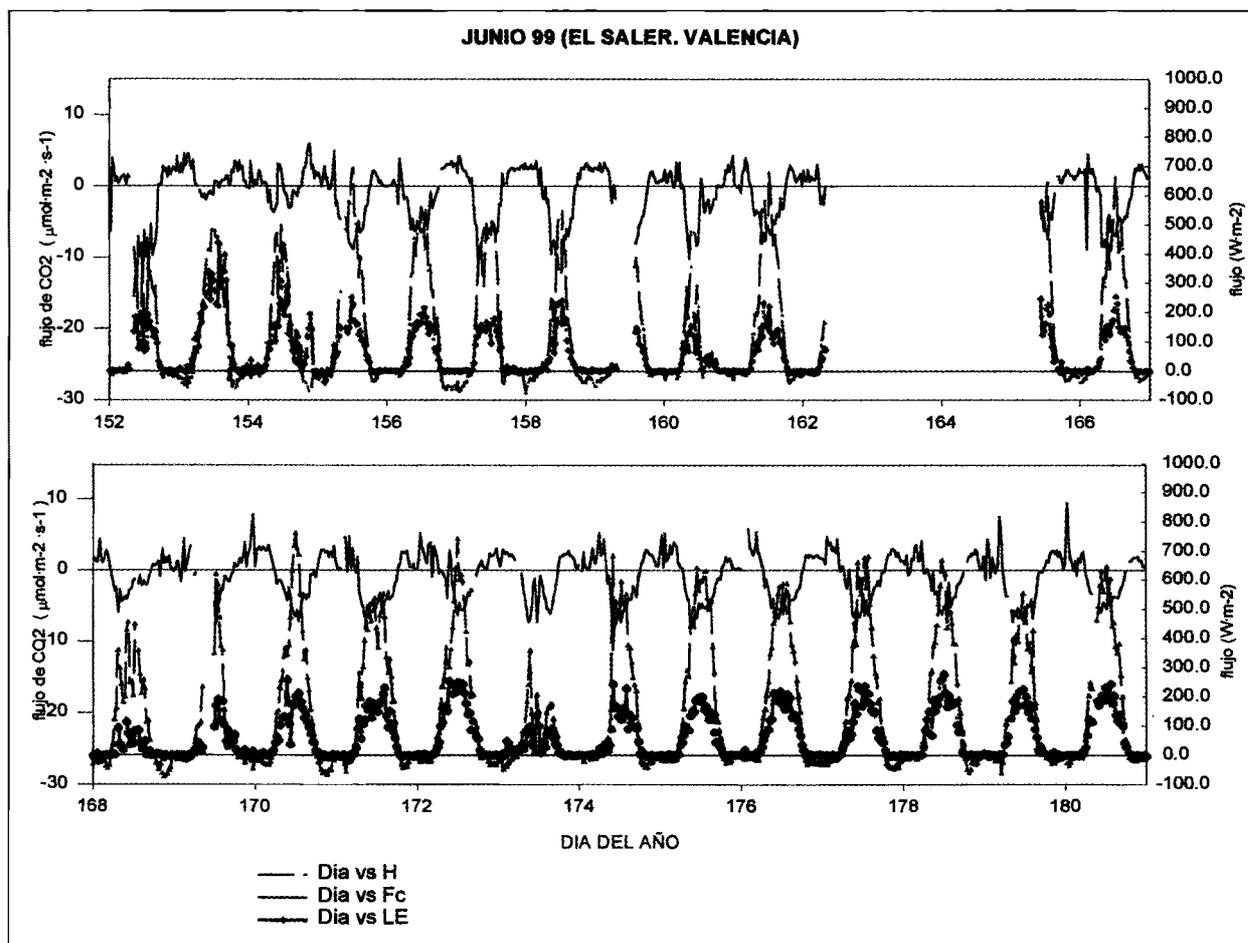


Figura 4. Flujos de  $\text{CO}_2$  ( $F_c$ ), de calor sensible ( $H$ ) y de calor latente ( $LE$ ), en la zona principal en Junio de 1999.

se observa una oscilación diaria en  $F_c$ , entre  $-10$  y  $-15 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . La falta de datos en ciertos días de Marzo se debe a episodios de lluvia, y en Junio al mal funcionamiento de la bomba.

Cuando se comparan para el mismo periodo de tiempo los flujos en ambas zonas, en general las magnitudes de los flujos de la zona de matorral son comparables con los de la zona de principal o matorral arbolado. Sin embargo, se observa que  $R_n$  en la zona de matorral es del orden de  $50\text{-}100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  mayor durante la noche. Esto puede ser debido a que al existir un mayor porcentaje de suelo desnudo hay una mayor reflexión de la luz que es detectada por el sensor de  $R_n$ , pero estas diferencias no las consideraremos significativas. Un problema similar de muestreo existe para las placas de flujo de calor del

suelo, ya que el área muestreada es sólo de unos pocos centímetros cuadrados. En la zona de pino-matorral la media del valor del flujo de calor del suelo es de  $25 \text{ W m}^{-2}$ . En cambio, cuando este sensor se encuentra descubierto este flujo puede aumentar hasta  $150 \text{ W m}^{-2}$ , como se puede ver en la primera media hora del día en la zona de matorral (Figura 5). Los flujos de calor sensible son casi idénticos para la zona pino-matorral y matorral, mientras que el flujo de calor latente es mayor ( $30$  a  $75 \text{ W m}^{-2}$ ) en la zona de pino-matorral, debido a la mayor evapotranspiración en esta zona donde la cobertura vegetal es mayor.

El valor medio del flujo de  $\text{CO}_2$  sobre la zona de matorral muestra un comportamiento similar al del flujo de calor latente, llegando a una meseta de aproximadamente  $-4$

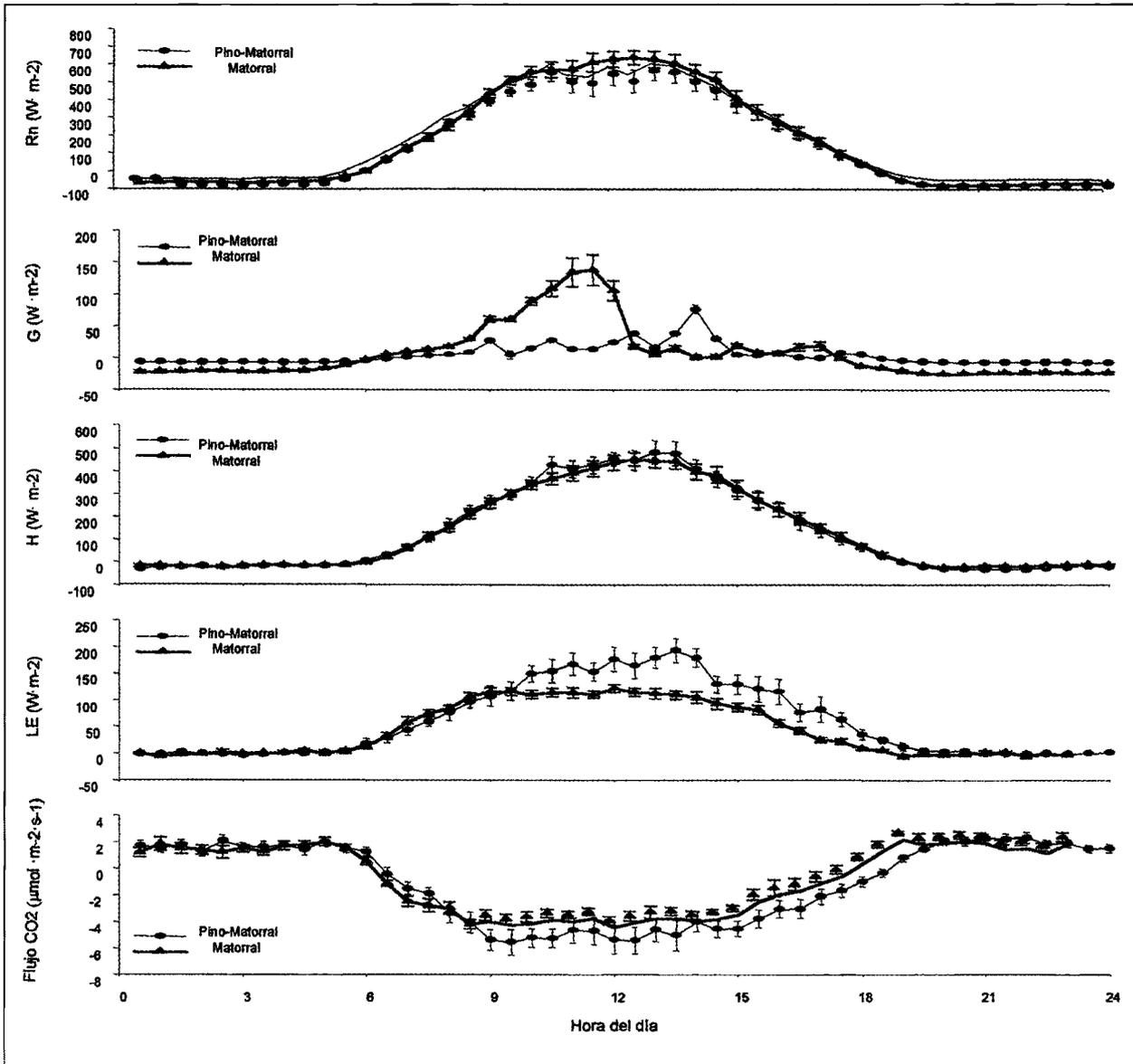


Figura 5. Flujos de energía, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O observados durante la primera quincena de Junio de 1999 para el matorral arbolado (zona principal) y matorral (zona 2) de forma simultánea con dos sistemas similares.

$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  a las a primera hora de la mañana disminuyendo suavemente después de mediodía (Figura 5). En la zona pino-matorral la media máxima es aproximadamente  $-6 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , en este caso el máximo sólo aparece a media mañana, decayendo el flujo de manera similar durante la tarde. La respiración nocturna es muy similar en las dos zonas, correspondiente a un valor medio de  $2 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  aproximadamente a lo largo de la noche. Es importante

destacar que los flujos de CO<sub>2</sub> son mucho mayores en la zona del arrozal durante el periodo de medida, llegando a máximos de  $-20 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Figura 6). Con ello se confirma que las plantas anuales son mucho más eficaces (sobretudo si se trata de cultivos intensivos) en la fijación de C por unidad de tiempo, pero sus periodos de crecimiento son mucho más cortos y la permanencia de este carbón limitada.

En la zona principal se puede estimar el

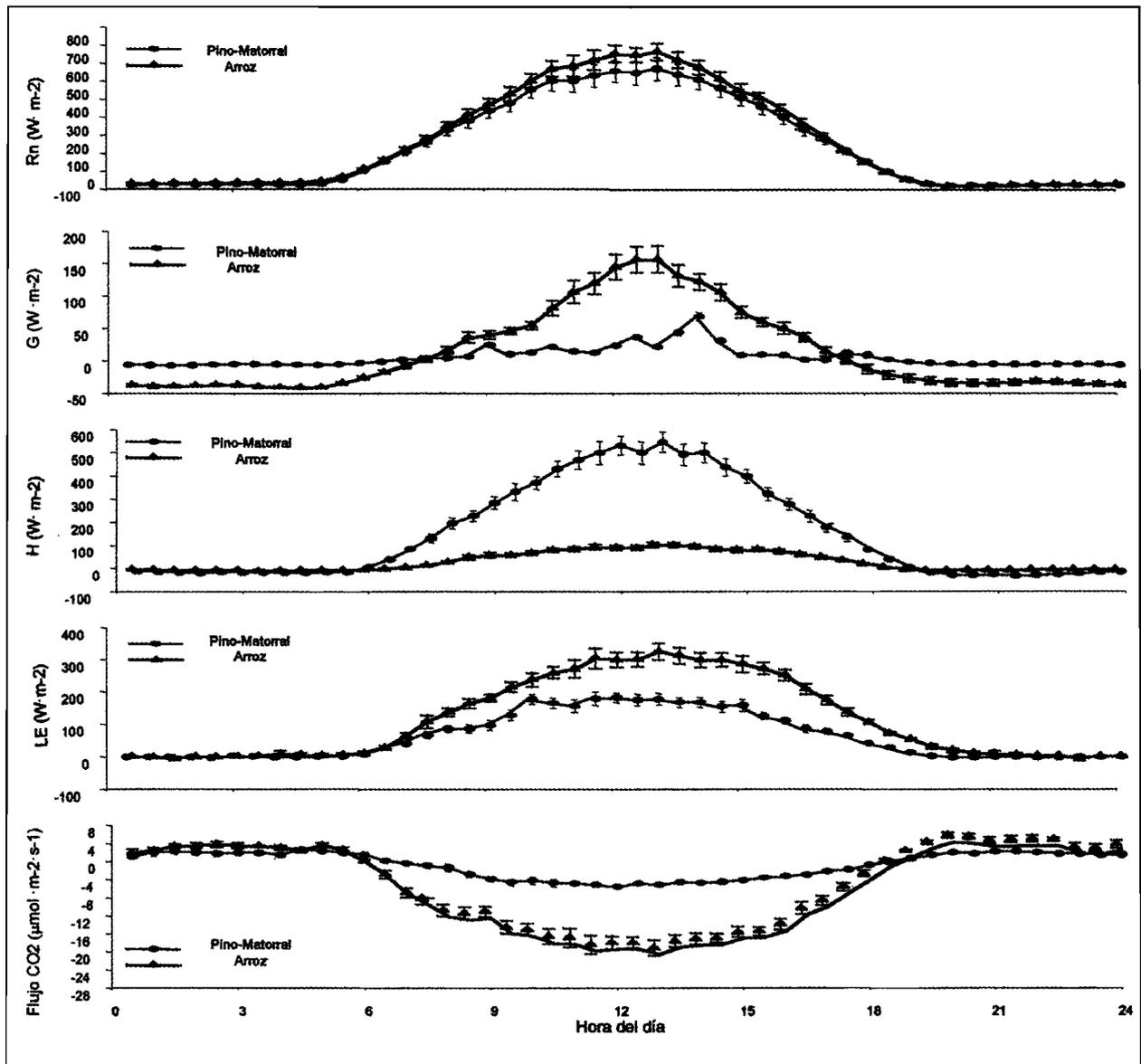


Figura 6. Flujos de energía,  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  observados durante la segunda quincena de Junio de 1999 para el matorral arbolado (zona principal) y un arrozal cercano de forma simultánea con dos sistemas similares.

carbón secuestrado durante el año, para ello los huecos en las series de datos medios horarios inexistentes o no adecuados debieron ser rellenados. Uno de los principales problemas en las medidas de flujos es la pérdida de datos de flujos transportados por remolinos (“eddies”) grandes después del amanecer. Esto ocurre durante noches con estratificación estable cuando hay una acumulación de  $\text{CO}_2$  en el dosel vegetal. Debido al bajo valor de la velocidad de corte estos flujos no pue-

den ser captados por el sensor. Por ello, los datos de flujos con una velocidad de corte por debajo de  $0.25 \text{ m s}^{-1}$  deben ser eliminados de la serie de datos. Como no se encontró una clara relación durante los periodos nocturnos entre los valores de respiración y la humedad del suelo, y sólo una débil relación con la temperatura del aire, los datos nocturnos que faltan o se eliminaron fueron reemplazados por el ajuste en el tiempo de los promedios de los flujos nocturnos de 10

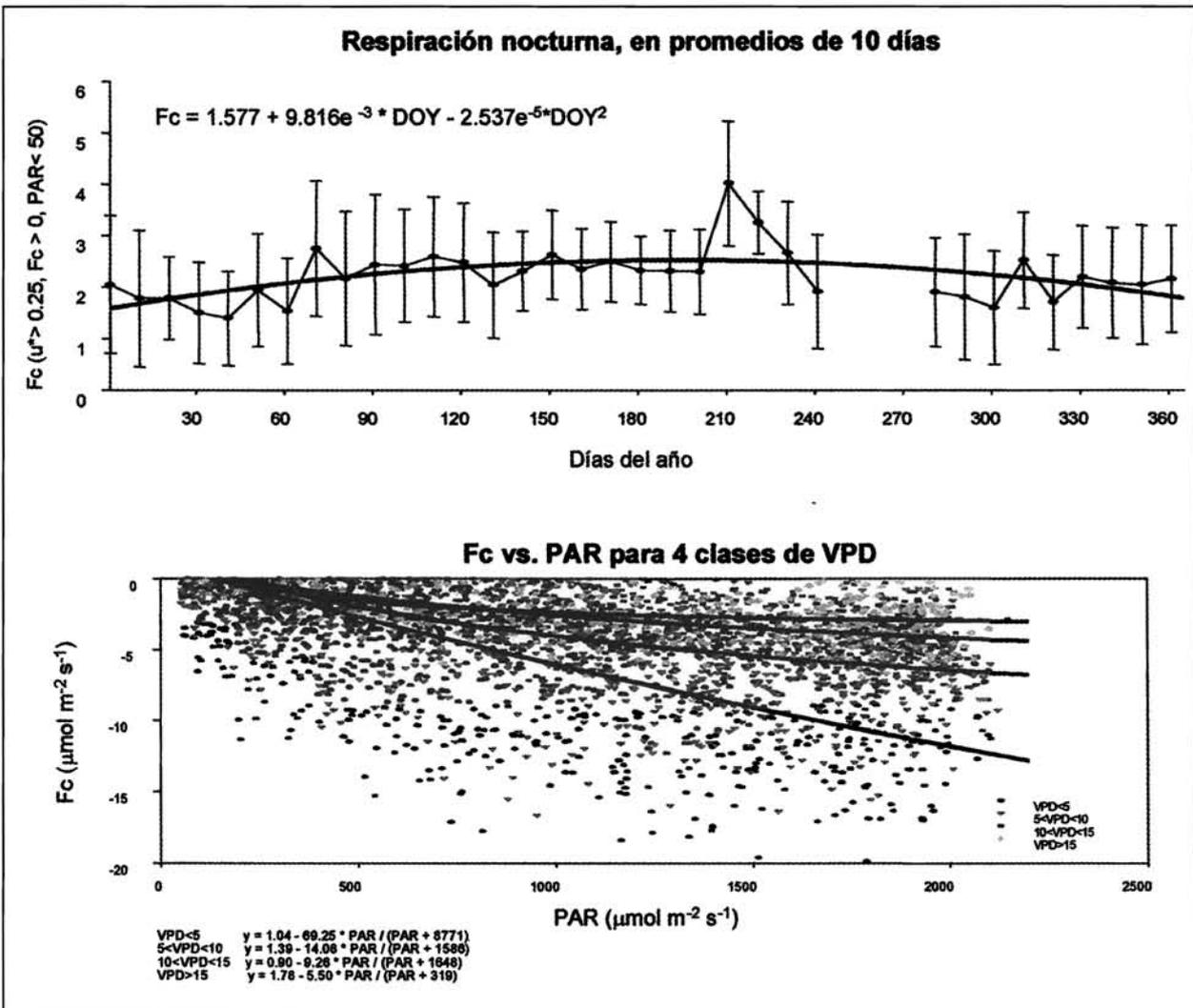


Figura 7. Relaciones y algoritmos utilizados para el relleno de huecos para flujos de CO<sub>2</sub> en periodos nocturnos y diurnos.

días eliminando aquellos valores con velocidades cortantes menores de 0.25 m s<sup>-1</sup>, de signo negativo o PAR de más de 50 W s<sup>-1</sup> (Figura 7). Para sustituir los datos diurnos eliminados (de velocidad cortante menor de 0.25 m s<sup>-1</sup>) se emplea la relación entre el CO<sub>2</sub> y el PAR para cuatro tipos distintos de VDP (Figura 7). Una vez sustituidos todos los valores perdidos o eliminados, se puede determinar el CO<sub>2</sub> acumulado a lo largo del periodo de medidas. En la Figura 8 (ver en color en pág. 135), se puede observar este acumulado junto a los flujos diarios de la zona de matorral arbolado donde se ha estimado una fijación de C anual (octubre 98 – octubre 99) de 89 g C m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>.

## CONCLUSIÓN

La utilización de técnicas micro-meteorológicas para determinar la evolución del intercambio de CO<sub>2</sub> integrando superficies de cierto tamaño en bosques u otros ecosistemas es muy útil, y una vez superado el coste inicial de la instrumentación permite la obtención de información muy valiosa sobre la capacidad de secuestro de C de diferentes tipos de formación vegetal a un coste bajo. Durante 1997-1998 se ha puesto a punto un sistema que permite realizar este tipo de mediadas, que desde Octubre de 1998 esta en funcionamiento en el Parque Natural de la Albufera, los datos obtenidos hasta Octubre

de 1999 nos permiten estimar que la fijación del carbono en el área de matorral arbolado del Parque es de  $89 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ . Este valor obviamente corresponde a un sólo año e integra todos los componentes del bosque (suelo, estrato herbáceo, arbustivo y arbóreo), esperamos obtener una serie de 4 años en la misma localización que nos permita observar si existe una variabilidad inter-anual y que magnitud tiene. Y como se ha podido comprobar en las campañas realizadas en Junio con otro sistema similar en paralelo, la contribución a los flujos anuales del estrato arbóreo no es muy grande, y los sistemas agrícolas circundantes son más efectivos a corto plazo pero la permanencia del C en ellos es limitada. Este mismo sistema puede ser fácilmente transportado a otras localizaciones para la realización de mediadas en periodos más o menos cortos, con la ventaja que dispone de una total autonomía energética.

## BIBLIOGRAFÍA

- AUBINET, M.; GRELE, A.; IBROM, A.; RANNIK, U.; MONCRIEFF, J.; FOKEN, T.; KOWALSKI, A.S.; MARTIN, P.J.H.; BRBIGIER, P.; BERNHOFER, C.H.; CLEMENT, R.; ELBERS, J.; GRANIER, A.; GRUNWALD, T.; MORGENSTERN, K.; PILEGAARD, K.; REBMANN, C.; SNIJDERS, W.; VALENTINI, R. & VESALA, T.; 2000. Estimates of the annual net carbon and water exchange of forest: the EUROFLUX methodology. *Advances in Ecological Research* 30: 114-175.
- BALCK, T.A.; DEN HARTOG, G.; NEUMAN, H.H.; BLANKEN, P.D.; YANG, P.C.; RUSSELL, C.; NESIC, Z.; LEE, X.; CHEN, S.G.; STAEBLER, R. & NOVAK, M D.; 1996. Annual cycles of water vapour and carbon dioxide fluxes in and above a boreal aspen forest. *Global Change Biology* 2; 219-229.
- GOULDEN, M.L.; MUNGER, J.W.; FAN, S.M.; DAUBE, B.C. & WOSFY, W.C.; 1996. Exchange of carbon dioxide by deciduous forest: response to interannual climate variability. *Science* 271; 1576-1578.
- GRACE, J.; LLOYD, J.; MCINTYRE, J.; MIRANDA, A.C.; MEIR, P.; MIRANDA, H.; MONCRIEFF, J.B.; MASSHEDER, J.; WRIGTH, I.R. & GASH, J.; 1995. Fluxes of carbon dioxide and water vapor over an undisturbed tropical rainforest in south-west Amazonia. *Global Change Biology* 1; 1-12.
- GRACE, J.; MALHI, Y.; LLOYD, J.; MCINTYRE, J.; MIRANDA, A.C.; MEIR, P. & MIRANDA, H. S.; 1996. The use of eddy covariance to infer the net carbon dioxide uptake of Brazilian rain forest. *Global Change Biology* 2; 209-217.
- GRECO, S. & BALDOCCHI, D.; 1996. Seasonal variation of  $\text{CO}_2$  and water vapor exchange rates over a temperate deciduous forest. *Global Change Biology* 2; 183-198.
- JARVIS, P. (ed.); 1998. *European Forest and Global Change, the likely impacts of rising  $\text{CO}_2$  and temperature*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 380pp.
- MONTCRIEFF, J.B.; MALHI, Y. & LEUNING, R.; 1996. The propagation errors in long term measurements of land-atmosphere fluxes of carbon and water. *Global Change Biology* 2; 231-240.
- STEFFEN, W.; NOBLE, I.; CANADELL, J.; APPS, M.; SCHULZE, E-D.; JARVIS, P.G.; BALDOCCHI, D.; CIAIS, P.; CRAMER, W.; EHLERINGER, J.; FARQUHAR, G.; FKIELD, C.B.; GHAZI, A.; GIFFORD, R.; HEIMANN, M.; HOUGHTON, R.; KABAT, P.; KÖRNER, C.; LAMBIN, E.; LINDER, S.; MOONEY, H.A.; MURDIYARSO, D.; POST, W.M.; PRENTICE, C.; RAUPACH, M.R.; SCHIMMEL, D.S.; SHVIDENCKO, A. & VALENTINI, R.; 1998. The terrestrial carbon cycle: Implications for the Kyoto protocol. *Science* 280; 1393-1394.
- VALENTINI, R.; MATTEUCCI, G.; DOLMAN, H.; SCHULZE, E.D.; REBMANN, C.; MOORS, E.J.; GRANIER, A.; GROSS, P.; JENSEN, N.O.; PILEGAARD, K.; LINDROTH, A.; GRELE, A.; BERNHOFER, C.; GRUNWALD, T.; AUBINET, M.; CEULEMANS, R.; KOWALSKI, A.S.; VESALA, T.; RANNIK, U.; BRBIGIER, P.; LOUSTAU, D.; GUOMUNDSSON, J.; THORGEIRSSON, H.; IBROM, A.; MORGENSTERN, K.; CLEMENT, R.; MONCRIEFF, J.; MONTAGNANI, L.; MINERBI, S. & JARVIS, P.G.; 2000. Respiration as the main determinant of carbon balance in European forest. *Nature* 404; 861-865.