

## DETERMINACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL BALANCE DE RADIACIÓN EN UN ÁREA EXPERIMENTAL DEL MACIZO DEL MONTSENY<sup>1</sup>

J. MARTÍN VIDE\*, J. L. MERCIER\*\*, J. M. RASO\* y M. SALA\*

*RESUMEN.- Los balances de masa y energía tienen en las investigaciones actuales en Geografía Física una importancia capital. El balance energético de cualquier área experimental requiere, previamente, el cálculo del correspondiente balance de radiación. En el presente artículo se da cuenta de la determinación de las componentes del balance radiativo en un área experimental sita en La Castanya (Montseny), durante una campaña de mediciones que tuvo lugar en octubre de 1989, con la instrumentación y directrices aportadas por el coautor francés. Se analiza en detalle el caso del día 22 de aquel mes, que muestra unas características modélicas.*

*ABSTRACT.- In the present day research on physical geography, mass and energy budgets are of capital importance. The energy budget in an experimental area requires the previous estimate of the corresponding radiation budget. In this paper, the obtention of the components of the radiative budget is explained for La Castanya (Montseny) experimental site. Measurements were carried out in October 1989 with the field instrumentation provided by the French co-author and under his supervision. Data from the 22nd October is analyzed in detail as an example of model characteristics.*

*RESUMÉ.- Parmi les recherches actuelles en Géographie Physique, les études sur les bilans de masse et d'énergie ont une très grande importance. Le bilan énergétique d'une aire expérimentale quelconque exige, d'abord, le calcul du bilan de radiation correspondant. Dans cet article on présente la détermination des composantes du bilan radiatif à une aire expérimentale localisée à La Castanya (Montseny), pendant le période d'octobre 1989, avec les instruments et directives apportées par le co-auteur français. On analyse avec grand détail le cas du jour de ce mois, car il a des caractéristiques modéliques*

**Key words:** radiation budget, energy budget, mountain, Montseny.

El funcionamiento del medio natural es a la vez físico, sistémico y geográfico. Físico, porque todas las transferencias de masa y de energía

<sup>1</sup> Recibido en noviembre de 1991.

\* Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional, Universidad de Barcelona.

\*\* Departamento de Geografía, Universidad de Strasburgo.

siguen las leyes de la física. Sistémico, porque estas transferencias tienen lugar entre la atmósfera, el suelo y la vegetación, y por tanto comprenden interrelaciones que superan los límites de cada una de las correspondientes disciplinas científicas. Geográfico, porque la variabilidad espacial del medio natural es uno de sus elementos más importantes y decisivos, y porque de esta variabilidad dependen los intercambios de masa y de energía a escalas más pequeñas (MERCIER, 1989).

El medio natural es un sistema complejo donde funcionan numerosos mecanismos elementales (transferencias de agua, materia y calor), en el suelo y en la atmósfera. En este sistema el flujo de energía de radiación es el que crea y/o destruye las estructuras, lo cual da lugar a intercambios de energía por la modificación de algunas de sus cualidades. Este sistema comprende tanto masas vivas como inertes, así como sus procesos metabólicos (MERCIER, 1980).

El balance de energía es el punto clave que permite la integración del estudio del medio natural, puesto que con él se evalúa la energía utilizable para la evaporación y el calentamiento del suelo, lo cual es el motor que desencadena los procesos geomorfológicos y biológicos. El balance radiativo es uno de los elementos del balance de energía y depende mucho de las condiciones climáticas y meteorológicas locales (MERCIER, 1989).

En geografía física el balance de energía tiene dos aspectos fundamentales. Uno es climatológico o microclimatológico y describe las bases, la formación o composición del balance en sus diferentes términos, su importancia relativa, su variabilidad en el tiempo y en el espacio; es el balance radiativo. El otro es geomorfológico y describe la utilización de esta energía en la superficie del suelo (transferencias de agua y de calor en la baja atmósfera y en el suelo) en el trabajo que modela el relieve; es el balance de energía propiamente dicho (MERCIER, 1989).

El estudio de los flujos y del balance de energía está destinado a ocupar un lugar destacado entre las líneas de investigación desarrolladas en los últimos decenios dentro de la Geografía Física porque, en primer lugar, su conocimiento no puede ser obviado a la hora de elaborar y proponer actuaciones concretas frente a la degradación del entorno, una de las preocupaciones más sentidas por las sociedades contemporáneas cuando el siglo XX se aproxima a su fin y, en segundo término, constituye un elemento centripeto entre las distintas ramas de la propia Geografía Física. El análisis de la energía solar incidente en el límite superior de la atmósfera, así como el de las transformaciones que sufre en el seno de ésta y el de la energía de onda larga emitida por la Tierra ha interesado primordialmente a la Climatología, por cuanto el estudio del balance radiativo es esencial para explicar las causas del tiempo y del clima. Sin embargo, en el desencadenamiento y mantenimiento de los fenómenos atmosféricos intervienen otras componentes energéticas, esencialmente la gravedad y la rotación del planeta, que determinan, conjuntamente con la energía radiativa de origen solar y la resultante de los eventos físicos, químicos y geodinámicos que tienen lugar o se mantienen sobre la superficie terrestre y la baja atmósfera,

la génesis de los distintos procesos geomorfológicos, hidrológicos, biogeográficos y edafológicos.

Así pues, la determinación del balance de radiación es una de las primeras tareas que deberían realizarse en geografía física, cuando se pretende estudiar de forma completa los balances de energía y de masa que tienen lugar en un sector determinado, muy especialmente cuando se trata de un estudio de tipo experimental.

En este artículo, tras resumirse los fundamentos del balance de radiación de una superficie, se describe el instrumental empleado para la determinación de los componentes de este balance y se analiza en detalle, por resultar modélico, el caso registrado el día 22 de octubre de 1989 en la estación experimental de la Castanya (Montseny). Estas observaciones de campo fueron llevadas a cabo bajo la dirección de Jean Luc Mercier, durante un curso intensivo ERASMUS organizado por la Universidad de Barcelona en el mes de octubre de 1989, y en el que participaban las Universidades de Estrasburgo, Amsterdam, San Andrés (Escocia) y Berlín. El material para las observaciones y mediciones provenía de las áreas experimentales que la Universidad de Estrasburgo tiene en los Vosgos.

### 1. Fundamentos teóricos del balance de energía y de radiación

El balance de energía de una vertiente o de un elemento de vertiente puede escribirse de la manera siguiente (MERCIER, 1984):

$$R_n + S_s + H + LE + F + A + P + M + B = dQ/dt$$

donde:

$R_n$  = radiación neta

$S_s$  = flujo de calor en el suelo

$H$  = flujo de calor sensible transferido al aire

$LE$  = flujo de calor latente utilizado en la evaporación o cedido por condensación

$F$  = calor utilizado en la sublimación de la nieve.

$A$  = advección de calor (en terrenos montañosos)

$P$  = intercambio de calor por las precipitaciones

$M$  = calor producido por frotamientos debidos al viento

$B$  = intercambios de calor en los mecanismos biológicos

$dQ/dt$  = almacenaje de calor con el tiempo

En la mayoría de casos esta relación se utiliza de forma simplificada:

$$R_n + S_s + H + LE = 0$$

Este balance se fundamenta en el balance radiativo, el cual se basa en el estudio físico de la dinámica de la radiación solar que seguidamente se explica.

Considérese una superficie ideal sin masa, que puede asimilarse a una delgadísima película que coincidiera con la superficie del suelo. La ecuación del balance de radiación de esta superficie se expresa como:

$$R_n = K^{\downarrow} - K^{\uparrow} + L^{\downarrow} - L^{\uparrow},$$

siendo  $R_n$  la radiación neta,  $K^{\downarrow}$  la radiación de onda corta incidente,  $K^{\uparrow}$  la radiación de onda corta reflejada,  $L^{\downarrow}$  la radiación de onda larga emitida.

Como  $K^{\uparrow} = \alpha \times K^{\downarrow}$ , siendo  $\alpha$  el albedo de la superficie, entonces  $K^{\downarrow} - K^{\uparrow} = K^{\downarrow} (1 - \alpha)$ . Por otra parte,  $L^{\uparrow} = \epsilon \times \sigma \times T^4$ , siendo  $\epsilon$  la emisividad de la superficie, con un valor casi siempre próximo a la unidad,  $\sigma$ , la constante de Stefan-Boltzmann, que vale  $5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ , y  $T$ , la temperatura absoluta de la superficie. En consecuencia:

$$R_n = K^{\downarrow} (1 - \alpha) + L^{\downarrow} - \epsilon \sigma T^4$$

Durante la noche,  $K^{\downarrow} = 0$ , luego el balance de radiación se reduce a:

$$R_n = L^{\downarrow} - \epsilon \times \sigma \times T^4$$

## 2. El área de estudio

La estación experimental del Vilar de la Castanya está situada en el macizo del Montseny, en las Cordilleras Costeras Catalanas, a  $41^{\circ} 46' 40''$  de latitud Norte y a  $2^{\circ} 21' 19''$  de longitud Este. Su altitud es de 850 metros, su orientación SSE, y las pendientes son superiores a  $20^{\circ}$ .

El sistema implicado en esta área de estudio se caracteriza por una cobertura vegetal densa (90 %), constituida por un bosque de encinar. Las formaciones superficiales son heredadas del último período frío, y han determinado vertientes modeladas por las caídas y deslizamientos de derrubios de termoclastia, así como localmente por coladas de solifluxión. La dinámica geomorfológica actual se debe a la reptación del suelo, a la actividad biológica, y a la hidrólisis de los silicatos. El contenido en materia orgánica del suelo permite una cierta reserva de agua. La acción antrópica es débil, con algo de pastoreo y pequeñas áreas de cultivo, por tratarse de un área protegida.

Puesto que el funcionamiento del suelo y de las formaciones superficiales está bajo la dependencia del clima actual, es necesario empezar a estudiar y comprender el marco energético que controla sus mecanismos.

La temperatura media anual se cifra en  $11^{\circ}\text{C}$ , con una amplitud anual extrema susceptible de superar los  $40^{\circ}\text{C}$ . A lo largo del año caen en promedio unas precipitaciones del orden de los 850 mm, repartidos desigualmente en unos 120 días, y el cielo se mantiene cubierto alrededor de 100 días y despejado en torno a 60 días. Octubre, el mes en que tuvo lugar

el experimento objeto de este trabajo, suele ser relativamente lluvioso en la estación del Vilar de la Castanya, por cuanto puede estimarse en 12 el número medio de días en los que se observa la caída de precipitaciones y éstas alcanzan los 100 mm. A este mismo mes corresponden un promedio de unos 10 días cubiertos, escasamente 5 días despejados y unas temperaturas medias próximas a los 12°C. Sin embargo, las características térmicas y pluviométricas de octubre de 1989 difirieron ostensiblemente de las surgidas por estos parámetros. El mes fue excepcionalmente seco. Únicamente a finales del mismo se registraron precipitaciones, pero en cantidades insignificantes, inferiores a 10 mm. Las temperaturas máximas, como consecuencia del predominio de los tipos sinópticos anticiclónicos y los cielos despejados o escasamente nubosos, fueron muy altas. El promedio de las mismas superó en unos 3°C a su correspondiente valor paramétrico, gracias a lo cual las temperaturas medias del mes se situaron cerca de un grado y medio por encima del suyo, ya que las temperaturas mínimas no destacaron ni como particularmente bajas ni como relativamente altas.

### 3. Instrumental y mediciones realizadas

Frente a la casa del Vilar, en un pequeño rellano, se instalaron, con vistas a determinar el balance de radiación, un piranómetro de termopila Kipp, para la medición de  $K^{\downarrow}$  y  $K^{\uparrow}$ , y un radiómetro para la  $R_n$ . El primer instrumento consta de termopares montados en serie, cuyas soldaduras impares se sitúan sobre el eje de la termopila y las pares están unidas a la masa de la pila a la misma temperatura. La superficie está cubierta por una capa de pintura absorbente. La radiación, al calentar esta superficie, produce en los bornos de la termopila una tensión proporcional a la  $K^{\downarrow}$ . La superficie de la pila va cubierta por dos semiesferas de vidrio que filtran la radiación con una longitud de onda comprendida entre 0,3 y 3  $\mu\text{m}$ . El albedo se obtiene como cociente de las dos medidas ( $K^{\uparrow}/K^{\downarrow}$ ).

Para la medición de  $R_n$  se utilizó un instrumento compuesto por una doble superficie receptora, una hacia el cielo y otra hacia el suelo, cubiertas por revestimientos absorbentes negros. De la diferencia de las energías radiantes incidentes sobre las superficies resulta una diferencia de temperatura, que es detectada por una termopila en la que la fuerza electromotriz es proporcional al balance de las componentes radiativas. Las superficies van protegidas por una cúpula de polietileno hinchada con aire seco. Se instaló, también, un anemómetro a 2 metros de altura sobre el suelo.

Con el instrumental descrito se obtiene la temperatura de la cúpula del radiómetro ( $t$ ),  $K^{\downarrow}$ ,  $K^{\uparrow}$ ,  $L^{\downarrow}$ ,  $R_n$ ,  $\alpha$ , la velocidad del viento a 2 metros de altura ( $v$ ) y los valores de otras variables complementarias, como la temperatura equivalente del cielo calculada a partir de  $L^{\downarrow}$ , y tres temperaturas de la superficie calculadas a partir de las componentes del balance radiativo suponiendo  $\varepsilon = 0,98$ ,  $\varepsilon = 0,95$  y  $\varepsilon = 0,90$ .

**4. Análisis del caso del 22 de octubre de 1989**

El listado (tabla 1) recoge, en ocho columnas, los siguientes registros: la hora oficial (TMG + 1 hora); la temperatura de la cúpula del radiómetro (t), en °C; la radiación de onda corta incidente ( $K^{\downarrow}$ ), en W/m<sup>2</sup>; la radiación de onda corta reflejada ( $K^{\uparrow}$ ), en W/m<sup>2</sup>; la radiación neta (Rn), en W/m<sup>2</sup>; la velocidad del viento (v), en m/seg.; el albedo ( $\alpha$ ); y la radiación de onda larga recibida ( $L^{\downarrow}$ ), en W/m<sup>2</sup>.

TABLA 1

La Castanya. Datos de las mediciones para el balance de radiación tomadas el 22 de octubre de 1989. (La Castanya. Data for the radiation taken on October, 22, 1989).

	h	t	$K^{\downarrow}$	$K^{\uparrow}$	Rn	v	$\alpha$	$L^{\downarrow}$
23	23.02	15,649			-71,658	1,314		305,150
	23.19	15,345			-69,237	1,233		303,540
	23.36	15,024			-69,809	1,121		306,120
0	23.53	15,160			-68,698	0,862		303,670
	00.24				-65,893	0,767		
1	00.41	14,572			-67,289	0,902		303,390
	00.58	15,006			-70,084	1,070		303,740
	01.15	15,507			-75,493	1,630		302,700
2	01.32	15,916			-76,568	0,556		301,520
	01.49	15,084			-65,331	0,556		301,170
	02.46	14,645			-64,187	0,557		303,810
3	02.23	14,341			-62,864	0,180		302,080
	02.40	14,265			-65,426	0,746		302,690
	02.58	14,835			-68,319	0,880		302,410
4	03.15	16,14†			-78,771	2,116		302,560
	03.32	15,732			-70,168	0,691		296,790
	03.49	14,248			-65,658	0,769		298,600
5	04.06	13,806			-67,679	1,018		300,100
	04.23	13,703			-64,409	0,640		301,090
	04.40	14,171			-65,883	0,926		300,900
6	04.57	13,958			-65,218	1,092		299,900
	05.17	14,017			-64,746	0,949		302,890
	05.31	13,959			-60,952	0,751		304,060
7	05.48	14,131			-61,767	0,701		305,200
	06.05	14,434			-62,465	0,846		304,470
	06.22	14,199			-64,075	1,217		302,360
8	06.39	14,591			-66,836	1,318		304,920
	06.56	14,903			-67,021	1,203		304,580
	07.13	14,687	2,399	1,554	-60,474	1,556	0,648	306,930
9	07.30	15,536	23,874	5,107	-51,034	1,554	0,214	324,110
	07.47	16,311	45,587	7,517	-36,564	0,194	0,165	312,240
	08.04	17,838	139,390	33,942	1,681	0,192	0,244	319,830
10	08.21	19,565	190,180	47,572	28,973	0,404	0,250	318,040
	08.38	20,799	234,130	55,018	55,570	0,510	0,235	319,510
	08.55	21,782	281,280	63,007	84,797	0,623	0,224	324,580
11	09.12	23,594	322,990	71,405	110,030	0,910	0,221	323,470
	09.29	23,934	303,440	62,826	103,680	0,464	0,207	317,700
	09.46	23,416	257,660	50,936	83,499	0,542	0,198	322,200

COMPONENTES DEL BALANCE DE RADIACION EN MONTAÑA

	<i>h</i>	<i>t</i>	<i>K<sup>i</sup></i>	<i>K<sup>r</sup></i>	<i>R<sub>n</sub></i>	<i>v</i>	<i>α</i>	<i>L<sup>l</sup></i>
10	10.03	21,889	219,510	41,675	67,145	0,606	0,190	322,830
	10.20	20,832	258,620	49,541	96,673	1,061	0,192	325,930
	10.37	21,557	382,370	75,198	176,250	0,385	0,197	334,410
11	10.54	24,358	464,450	92,412	220,290	0,635	0,199	330,950
	11.11	24,609	440,300	86,134	205,620	0,399	0,196	326,580
	11.28	25,795	469,900	91,849	209,980	0,799	0,195	321,760
	11.45	25,970	496,060	96,908	235,370	0,539	0,195	334,670
12	12.02	27,032	516,920	101,400	243,400	0,539	0,196	332,940
	12.19	28,144	567,630	112,340	272,540	0,985	0,198	335,170
	12.36	28,645	564,520	112,810	279,560	1,237	0,200	338,750
13	12.53	28,684	560,170	111,550	283,730	1,247	0,199	338,980
	13.10	28,688	549,180	109,280	283,480	1,077	0,199	346,700
	13.27	28,167	533,140	106,610	281,610	0,979	0,200	347,630
	13.44	27,944	511,450	102,320	273,290	1,250	0,200	348,450
14	14.01	27,185	485,560	97,109	262,680	1,160	0,200	347,150
	14.18	26,648	435,550	91,824	247,510	1,076	0,202	349,000
	14.35	26,586	413,010	84,639	222,580	0,830	0,205	352,540
15	14.52	25,581	331,480	67,224	169,560	0,686	0,203	346,970
	15.09	24,722	328,870	68,472	172,890	0,542	0,208	353,340
	15.26	24,899	308,470	66,240	159,510	0,785	0,215	353,710
	15.43	24,070	270,420	58,547	137,080	0,563	0,217	356,400
16	16.00	24,113	225,340	46,809	109,350	0,191	0,208	355,120
	16.17	22,360	106,470	13,729	22,843	0,259	0,129	333,310
	16.34	18,479	40,449	2,902	-25,566	0,351	0,072	324,520
	16.51	17,090	34,219	3,856	-27,851	0,126	0,133	326,640
17	17.08	16,451	25,948	3,634	-34,938	0,207	0,140	323,900
	17.25	15,638	14,452	2,157	-40,208	0,107	0,149	322,800
	17.43	15,155	3,748	0,828	-50,948	0,655	0,221	321,130
18	18.00	14,681			-54,220	0,138		318,050
	18.17	14,080			-56,388	0,016		315,320
	18.34	13,679			-59,732	0,638		313,430
	18.51	13,754			-61,415	0,729		313,140
19	19.08	13,452			-60,294	0,700		311,010
	19.25	13,006			-58,159	0,446		309,140
	19.42	12,500			-57,591	0,529		307,060
20	19.59	12,246			-56,352	0,392		306,640
	20.16	12,134			-58,034	0,655		305,680
	20.33	12,376			-55,746	0,283		306,810
	20.50	12,181			-53,130	0,105		308,360
21	21.07	12,323			-51,998	0,205		310,500
	21.24	12,318			-38,700	0,384		327,320
	21.41	13,050			-14,221	0,956		358,390
22	21.58	13,757			-30,893	1,954		342,519
	22.15	13,580			-55,929	1,399		311,930
	22.32	12,730			-58,813	1,223		306,200
	22.49	11,981			-59,031	1,247		305,160
23	23.06	11,631			-57,990	0,929		304,800

*h* = hora

*t* = temperatura

*K<sup>i</sup>* = radiación de onda corta incidente

*K<sup>r</sup>* = radiación de onda corta reflejada

*R<sub>n</sub>* = radiación neta

*v* = velocidad del viento

*α* = albedo de la superficie

*L<sup>l</sup>* = radiación de onda larga recibida

Las mediciones se realizaron cada 17 minutos, en total 85, desde las 23 h 02 m del día 21 de octubre a las 23 h 06 m del día 22 de octubre. La temperatura mínima medida no se registró hacia el amanecer, sino al final de la jornada, con 11,6° C, en la última medición. La temperatura máxima registrada, de 28,7° C, se alcanzó a las 13 h 10 m, relativamente próxima al mediodía astronómico. El ritmo térmico a lo largo del día fue notablemente regular, con la excepción de un retroceso en la marcha ascendente matutina, entre las nueve y media y las once menos cuarto, aproximadamente. Este retroceso podría deberse al desencadenamiento de una brisa de valle, dada la orientación SSE de la vaguada donde se encuentra el Vilar. Sin embargo, los bajos valores de la velocidad del viento y la irregularidad, que luego se comentará, en el ritmo de la radiación solar inducen más bien a pensar que se produjo a causa de un ligero y pasajero ennublamiento del cielo.

La recepción de radiación de onda corta incidente comenzó entre las 6 h 56 m y las 7 h 13 m, con un máximo entre las 12 h 19 m y las 12 h 36 m, y finalizó entre las 17 h 43 m y las 18 h. Su marcha a lo largo del día presenta una notable regularidad, con un máximo registrado de 567,6 W/m<sup>2</sup>, lo que corresponde a 0,81 cal/cm<sup>2</sup>.min. Este valor viene a representar, más o menos un 60 % de la radiación solar incidente en el límite exterior de la atmósfera sobre la vertical de Barcelona, en el mediodía astronómico de la fecha. Se advierte una irregularidad entre las nueve y cuarto y las diez, fruto, seguramente, de la presencia de nubosidad no muy espesa y pasajera (el cielo estuvo prácticamente despejado gran parte de la jornada).

La proporción de radiación de onda corta reflejada con respecto a la incidente da, para el centro del día, desde las 10 h 37 m hasta las 14 h 52 m, albedos de 0,20. Hay que anotar, sin embargo, un hecho destacable. Aunque es bien conocida la dependencia del albedo, en especial el de las superficies acuáticas, de la altura del Sol sobre el horizonte, con máximos valores para alturas pequeñas, los registros no muestra simetría al respecto. Así, aunque, en efecto, el albedo más elevado es el de la primera observación, de 0,65, a las 7 h 13 m, los albedos de las primeras observaciones superan con claridad a los de las últimas. Hay que pensar que el enclave del sector experimental, abierto hacia los rumbos de levante y respaldado por el relieve en los de poniente, favorece altos albedos a primeras horas de la jornada con cielos despejados, al recibirse bien la radiación solar directa, mientras que los atenúa a últimas horas, al alcanzar el sector sólo radiación difusa.

La radiación de onda larga recibida mostró la normal "constancia" a lo largo de la jornada, con máximos valores después del mediodía y mínimos entre las tres y media y las cinco de la madrugada. El máximo valor registrado, de 358,4 W/m<sup>2</sup>, a las 21 h 41 m, correspondió a un pico "anómalo", que se acompaña por un ligero aumento térmico. Este tipo de anomalía probablemente manifiesta la presencia de alguna capa de nubes bajas, asociada a un flujo relativamente cálido.

Respecto a la radiación neta, ésta fue negativa desde el comienzo de la jornada hasta las ocho de la mañana, aproximadamente, y, luego, desde



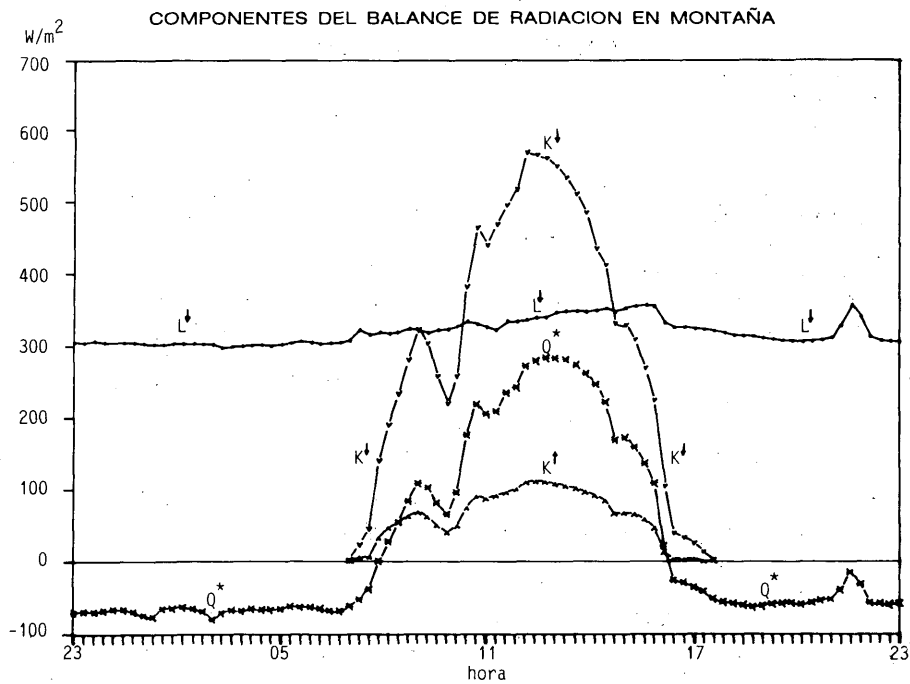


Figura 1. Balance radiativo en la Castanya, en  $Wm^{-2}$ , a lo largo del día 22 de octubre de 1989. (Radiative budget at La Castanya, in  $Wm^2$ , on October, 22, 1989).

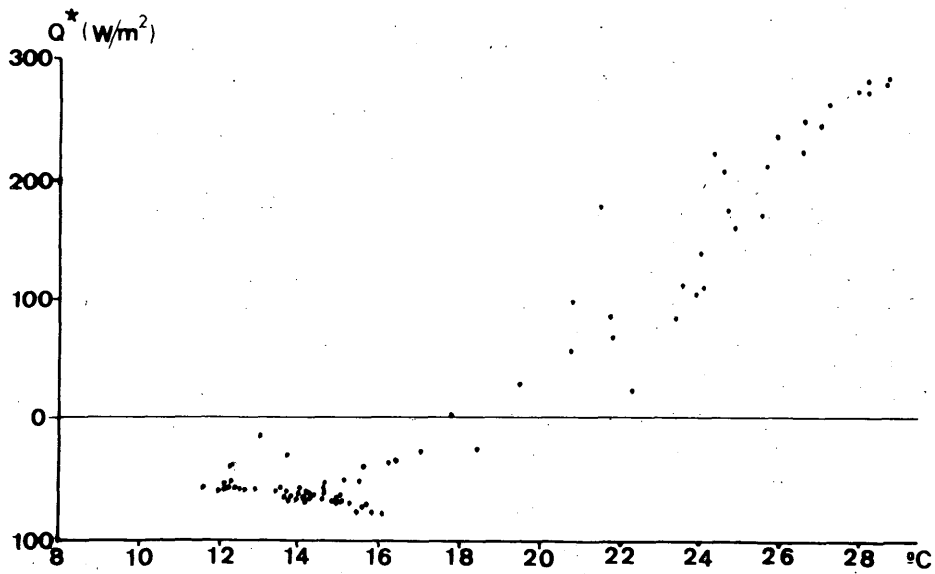


Figura 2. Valores registrados correspondientes a la temperatura y a la radiación neta ( $R_n$ ), a lo largo del día 22 de octubre de 1989 en la Castanya. (Values of temperature and net radiation ( $R_n$ ) on October, 22, 1989).

poco antes de las cuatro y media de la tarde hasta el final del período de observación. El valor máximo registrado fue de 283,7 W/m<sup>2</sup>, las 12 h 53 m, y el mínimo de -78,8 W/m<sup>2</sup>, a las 3 h 15 m. El tránsito de valores positivos a negativos, entre las 16 h 17 m y las 16 h 34 m, se corresponde con un fuerte descenso térmico, de casi 4° C. Igualmente, poco después de las ocho de la mañana, cuando el balance radiativo pasó de negativo a positivo, se produjo un tirón térmico ascendente.

Aun contando con el natural desfase temporal de los valores de temperatura ante los de radiación neta, la forma de la nube de puntos de la figura en que se representan los correspondientes registros de  $t$  y de  $Q^*$  evidencia el predominio, en la jornada analizada, de las componentes radiativas sobre los flujos advectivos en el balance energético. La acusada amplitud térmica es, asimismo, un reflejo de lo anterior.

## 5. Consideraciones finales

Las experiencias de campo descritas, lamentablemente muy escasas en España, y siempre episódicas, suministran los primeros datos-los radiativos-para la determinación del balance energético, y, vinculado a él, del balance de masa o de materiales, sobre un sector, sea una cuenca de drenaje o cualquier otra unidad o ámbito. Los altos valores que alcanza la radiación incidente ( $K^{\downarrow}$ ) en el país y los albedos muy diversos y fuertemente modificados por causa antrópica hacen aún más necesaria, si cabe, la medición de las componentes radiativas. La sencillez de los fundamentos teóricos del balance radiativo, que debe conocer todo geógrafo físico, y la disponibilidad en el mercado del instrumental requerido para la evaluación de sus componentes facilitan considerablemente la tarea.

## Referencias

- MERCIER, J. L. (1976). *Simulation digitale de l'évolution géomorphologique d'un versant*. Thèse Sciences, Strasbourg, 300 pp.
- MERCIER, J. L. (1980). Notes on the mathematical modelling of a geo-system. *2nd Coll. on theoretical and quantitative Geography*, Cambridge, 22 pp.
- MERCIER, J. L. (1984). La mesure du creep: exemple de fonctionnement d'un système Géomorphologique. En Y. Guermond (coord.) *Analyse de Système en Géographie*, Presses Univ. Lyon, 147-185.
- MERCIER, J. L. (1989). *Notas del Curso Intensivo ERASMUS*, Universidad de Barcelona.