

## ESTUDI DE LES VARIABLES METEOROLÒGIQUES A L'ESTANY DE BANYOLES

J. Colomer, E. Roget & X. Casamitjana

Institut d'Ecologia Aquàtica. Estudi General de Girona (UAB). Pl. Hospital, 6. 17071 Girona.

---

### RESUM

Presentem les principals variables meteorològiques: temperatura, humitat relativa, precipitació i radiació, que determinen els fluxs d'energia a la interfase aire-aigua de l'estany de Banyoles. Les dades analitzades corresponen al període que va des del març de 1989 fins al febrer de 1990. En aquest article, s'estudien especialment, en primer lloc, les quantitats de precipitació mensual i, en segon lloc, les radiacions d'ona curta i llarga, per a conèixer el flux de calor per radiació que arriba a la superfície de l'estany. En aquest cas es presenten les dades anuals de la radiació —després d'haver fet una integració diària— per a poder definir les variabilitats estacionals que caracteritzen el clima a l'estany de Banyoles.

### RESUMEN

Presentamos las principales variables meteorológicas: temperatura, humedad relativa, precipitación y radiación, que determinan los flujos de energía en la interfase aire-agua del lago de Banyoles. Los datos que presentamos corresponden al periodo que va desde marzo de 1989 hasta febrero de 1990. En este artículo se estudian especialmente, primero, las cantidades mensuales de precipitación y, segundo, las radiaciones de onda corta y larga para llegar a conocer el flujo de calor por radiación que llega a la superficie del lago. En este caso presentamos los datos anuales de la radiación, después de realizar una integración diaria, a fin de definir las variaciones estacionales que caracterizan el lago de Banyoles.

### ABSTRACT

We present the main meteorological variables: temperature, humidity, rainfall and radiation, which determine the energy balance at the air-water interface of the lake of Banyoles. The data presented belong to the period March-89 till February-90. In this paper, particularly, we analyse more in detail first, the monthly rainfall and second, the short wave and long wave radiation to acknowledge the radiation heat flux that gets to the surface of the lake. We also present the annual radiation data, after having produced a daily integration, to be able to define the seasonal variations that characterize the climate in the lake of Banyoles.

---

**Key words:** lake Banyoles, meteorological data, rainfall, short wave and long wave radiation.

## INTRODUCCIÓ

Per a l'estudi de la dinàmica de l'aigua d'un estany és del tot important arribar a conèixer les condicions atmosfèriques que l'afecten, incloent el flux de calor superficial. El coneixement de la interacció aire-aigua implica avaluar el balanç energètic associat a aquesta interfase, referència primera per a estimar l'energia que es transfereix entre aquestes dues zones frontereres. L'equació que regeix el balanç energètic d'un estany és:

$$\phi_N = \phi_R - \phi_E - \phi_H - \phi_G \quad (1)$$

on  $\phi_N$  expressa el balanç energètic a la interfase aire-aigua,  $\phi_R$  és la radiació total,  $\phi_E$  és l'energia corresponent a l'evaporació,  $\phi_H$  és l'energia deguda al flux de calor sensible i  $\phi_G$  és l'energia corresponent al balanç advectionu entre les entrades d'aigua, per les rieres i la precipitació, i les sortides d'aigua, pels recs.

L'àrea d'estudi es centra a l'estany de Banyoles el qual es troba situat a uns 31 km de la mar Mediterrània, amb una latitud Nord de  $42^\circ 7'$  i una longitud Est de  $2^\circ 45'$ . L'estació meteorològica (Aanderaa instruments), pertanyent al Laboratori Municipal de Limnologia de Banyoles (can Sisó), està situada a l'oest de l'estany de Banyoles, a una distància d'uns 100 m de l'estany i a una alçada de 12 m. El fet que l'estació meteorològica formi part d'una zona neta d'obstacles permetrà aplicar les dades obtingudes de l'estació a la zona immediatament superior de l'estany.

En aquest treball estudiarem les dades més característiques que s'obtenen de l'estació meteorològica de can Sisó en el període que va des de març de 1989 fins a febrer de 1990: temperatura, humitat relativa, fent especial atenció a la precipitació, radiació d'ona curta i radiació d'ona llarga. El balanç energètic per radiació, a l'estació meteorològica, s'ha obtingut segons l'equació

$$\phi_R = \phi_S + \phi_L - \phi_L^* \quad (2)$$

on  $\phi_S$  és la radiació d'ona curta incident,  $\phi_L$  és la radiació d'ona llarga incident i  $\phi_L^*$  és la radiació d'ona llarga cap a l'exterior, provinent de la capa d'aire immediatament superior al terra. També compararem les nostres dades amb les obtingudes per Martin Vide (1987) i Henderson-Sellers (1986).

## MÈTODES

Les dades de radiació d'ona curta s'obtenen mitjançant un piranòmetre el qual mesura el flux de radiació, en  $mW/cm^2$ , corresponent a longituds d'ona compreses entre  $0.3 \mu m$  i  $2.5 \mu m$ . El rang que mesura l'aparell va de 0 a  $200 mW/cm^2$ , la resolució és de  $0.4 mW/cm^2$  i la precisió és de  $2 mW/cm^2$ . La radiació solar o curta pro-

cedent del Sol, quan arriba a la superfície terrestre, té una ampla distribució espectral amb un rang que va de l'ultraviolat a l'infraroig. Els percentatges de radiació incident són, de mitjana, un 9% de radiació ultraviolada ( $\lambda < 0.4 \mu\text{m}$ ), un 45% de radiació visible ( $0.4 \mu\text{m} < \lambda < 0.74 \mu\text{m}$ ) i un 46% restant de radiació infraroja ( $\lambda > 0.74 \mu\text{m}$ ). La composició de l'espectre i el percentatge de radiació que arriba a la superfície es veu modificada, primer, per l'absorció atmosfèrica deguda a l'oxigen, l'ozon, el vapor d'aigua i el diòxid de carboni i, segon, per la reflexió deguda a les molècules d'aire i de vapor d'aigua. Si fem la mitjana de tot un any, veurem que un 34% de la radiació rebuda és reflectida per l'atmosfera i un altre 19% és absorbida per l'atmosfera. Això implica que un 47% de la radiació solar assoleix la superfície terrestre i, per tant, la interfase de l'estany. D'aquest 47%, un 24% és de radiació solar directa i un 23% és de radiació difusa reflectida (Kirk, 1983).

Les dades de radiació d'ona llarga s'obtenen indirectament mitjançant un pirgeòmetre el qual mesura la radiació global corresponent a longituds d'ona compreses entre  $0,3 \mu\text{m}$  i  $60 \mu\text{m}$ . El rang és de  $\pm 200 \text{ mW/cm}^2$ , la resolució és de  $0,4 \text{ mW/cm}^2$  i la precisió és de  $\pm 3\%$  en cada lectura. L'avaluació de l'ona llarga incident  $\phi_L$ , originada com a emissió de diverses capes de l'atmosfera per part de molècules, especialment  $\text{CO}_2$  i vapor d'aigua, en l'atmosfera lliure, i vapor líquid, en els núvols, passa per conèixer la radiació total  $\phi_R$  que arriba a la superfície de l'estany. D'aquest valor en restem la radiació d'ona curta  $\phi_S$  i hi sumem la radiació d'ona llarga  $\phi_L^*$  ( $5 \mu\text{m} < \lambda < 50 \mu\text{m}$ ) provinent de la capa d'aire immediatament superior al terra, radiació terrestre que sempre és present encara que la insolació sigui absent. Aquesta última es calcula simplement utilitzant la llei de Stefan-Boltzman  $\sigma T^4$  on  $\sigma = 5.6697 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$  i  $T$  és la temperatura de l'aire a l'alçada del termòmetre de l'estació meteorològica.

Les dades obtingudes de l'estació meteorològica s'expressen com a flux de radiació per unitat d'àrea i de temps ( $\text{mW/cm}^2$ ). Per conèixer les variabilitats diàries, estacionals i anuals, calcularem la radiació diària expressada en  $\text{cal/cm}^2$ , fent la integral  $\int_0^{24 \text{ hores}} x(t) dt$ , la qual dona la quantitat d'energia que rep la superfície per unitat d'àrea i per dia. La representació al llarg de l'any dels valors diaris així obtinguts permetrà l'anàlisi global del comportament de l'energia incident per radiació a l'estany.

## RESULTATS I DISCUSSIÓ

### Pluviositat

Les pluviositats obtingudes durant el període que va des de març de 1989 fins a febrer de 1990 són les que es mostren a la taula 1. S'hi observa un màxim absolut de pluviositats al novembre, un de relatiu a l'abril, un mínim a l'hivern o a l'estiu que s'explica per la circulació general de l'atmosfera i, més concretament, per la circulació regional, matisada per uns factors individualitzats.

**Taula 1.** Dades numèriques de la pluviositat mensual durant el període març-89/febrer-90.

| Mes    | Pluviositat (mm) | Mes      | Pluviositat (mm) |
|--------|------------------|----------|------------------|
| Març   | 17,2             | Setembre | 63,0             |
| Abril  | 129,8            | Octubre  | 23,7             |
| Maig   | 49,2             | Novembre | 199,0            |
| Juny   | 86,4             | Desembre | 36,0             |
| Juliol | 18,2             | Gener    | 25,8             |
| Agost  | 25,4             | Febrer   | 0,8              |

A gran escala, hi ha una circulació subtropical, dominant a l'estiu, caracteritzada per la presència d'un anticicló potent en els nivells mitjans i alts de la troposfera. A l'hivern i a les estacions intermèdies hi ha una circulació temperada que canalitza els fluxos de l'est i el sud-est, des de la Mediterrània, els quals produeixen les pluges més quantioses (Martín Vide, 1987), i les pertorbacions atlàntiques, les quals arriben degenerades després d'haver descarregat bona part de la seva humitat en els vessants atlàntics. En canvi, a escala local, els factors geogràfics més importants són, per l'est, l'obertura que té l'estany en l'expressió d'una plana ben definida com és la depressió de l'Empordà, i per l'oest, la barrera tectònica que representen la Garrotxa i els Pirineus. Aquests dos factors geogràfics faran que l'efecte pantalla que es produeix a la costa gironina a causa del relleu litoral es repeteixi en el relleu occidental (serra de Rocacorba: 994 m, al sud-oest; Finestres: 1.027 m, a l'oest; Castellets: 975 m, i Mare de Déu del Mont: 1.125 m, al nord-oest) que té la nostra zona d'estudi. Tot això implicarà que en el clima de l'estany de Banyoles les variabilitats diàries pel que fa a la precipitació siguin altes. Tanmateix, els totals mensuals i anuals podran variar substancialment d'un any a l'altre, sense seguir, per tant, cap variació cíclica.

El màxim de novembre —199 mm (Taula 1)— s'explica pel fet que la temperatura de les aigües superficials de la mar Mediterrània és força elevada, un cop passat l'escalfament perllongat de l'estiu. Llavors, qualsevol invasió o bossa d'aire fred corresponent ja a la circulació temperada provoca un contrast tèrmic prominent, el qual genera de forma sobtada tempestes i xàfecs intensos. Són de notar els xàfecs intensos —23,2 mm el dia 28 d'octubre, gairebé el total mensual— o un període de pluges —66 mm, 46,2 mm i 31 mm entre els dies 16 i 18 de novembre, que junt amb els 30,4 mm del dia 30 del mateix mes impliquen en conjunt el 87% del total mensual. Així, els mesos d'octubre i novembre són els més probables perquè es produeixin situacions d'instabilitat. Són conegudes, pel que fa a Banyoles, altres dades de pluviositat que concorden amb aquesta anàlisi. Així, consten en la bibliografia local les pluges de llevant entre el 19 i el 25 de març de 1790, les pluges del 24 i el 25 de novembre de 1793 o bé inundacions com la del 25 de setembre de 1888 (Constans, 1981) i, ja més recentment, el desbordament de les aigües l'octubre de 1940, el 6 novembre de 1963 i el 25 de novembre de 1976 (Sanz, 1981).

**Taula 2.** Totals pluviomètrics mensuals per a cada ritme estacional.

| Ritme estacional                       | Pluviositat total (mm) |
|--|------------------------|
| Hivern: desembre, gener, febrer: H     | 63,4                   |
| Primavera: març, abril, maig: P        | 196,2                  |
| Estiu: juny, juliol, agost: E          | 130,0                  |
| Tardor: setembre, octubre, novembre: T | 285,7                  |

Considerant com a total pluviomètric estacional la suma dels valors de la precipitació de tres mesos (Taula 2), podem establir el ritme estacional del període estudiat com tardor, primavera, estiu, hivern: TPEH. Aquest ritme es pot considerar anormal si el comparem amb el corresponent a la costa gironina que és THPE (Martín Vide, 1987). Comparant els dos ritmes, observem que hi ha una concordança en el fet d'una màxima pluviositat a la tardor, però, en canvi, en lloc d'ha-ver-n'hi un mínim a l'estiu, aquest es dona a l'hivern (són de destacar els 0,8 mm del mes de febrer). És coneguda, tanmateix, la relativa sequera que ha patit el sector català durant aquest ritme d'hivern. La relativa elevada precipitació estiuenca s'explica pel contrast entre les temperatures de les penetracions fredes, freqüents al sector gironí, i les temperatures elevades de l'aigua de la mar Mediterrània. Tot i això, el mínim relatiu del juliol (22,4 mm) s'ajusta als valors corresponents als registrats en aquest mes en tot el litoral mediterrani, que van de 15 a 30 mm entre la frontera amb França i el nord de la província de Castelló (Martín Vide, 1987). Pel que fa al valor anual 675,3 mm, aquest s'emmarca correctament dins el sector català, el qual fins al sud de Peníscola presenta valors superiors als 500 mm, també dintre d'una disminució progressiva amb la latitud, fet característic en el clima mediterrani.

### Radiació

La radiació solar o d'ona curta que arriba a la interfase de l'estany depèn de l'elevació solar que es mesura en funció de l'angle  $\beta$ , que és l'angle dels raigs del Sol amb la superfície. La variació d'aquesta elevació en relació a l'hora del dia depèn de la latitud i de la declinació  $\delta$  que es mesura per l'angle d'un hemisferi donat: nord o sud respecte del Sol. L'elevació solar  $\beta$ , per una latitud donada  $\gamma$ , varia amb l'hora del dia,  $\tau$ , segons la relació (Kirk, 1983):

$$\sin \beta = \sin \gamma \sin \delta - \cos \gamma \cos \delta \cos \tau$$

amb  $\tau = 360^\circ t/24$ , on  $t$  és el temps, donat en hores. Per a diferents dies corresponents a diferents estacions i sota diferents condicions atmosfèriques (Figs. 1a i 1b), observem que la variació de la radiació solar amb l'hora del dia és sinu-

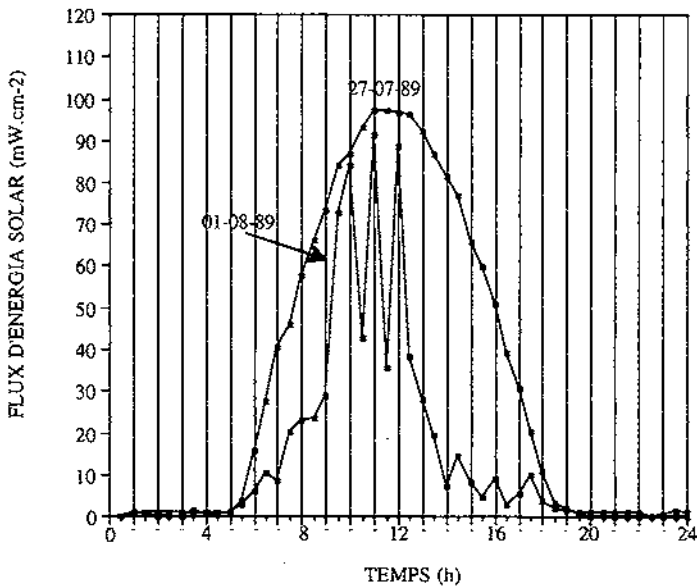
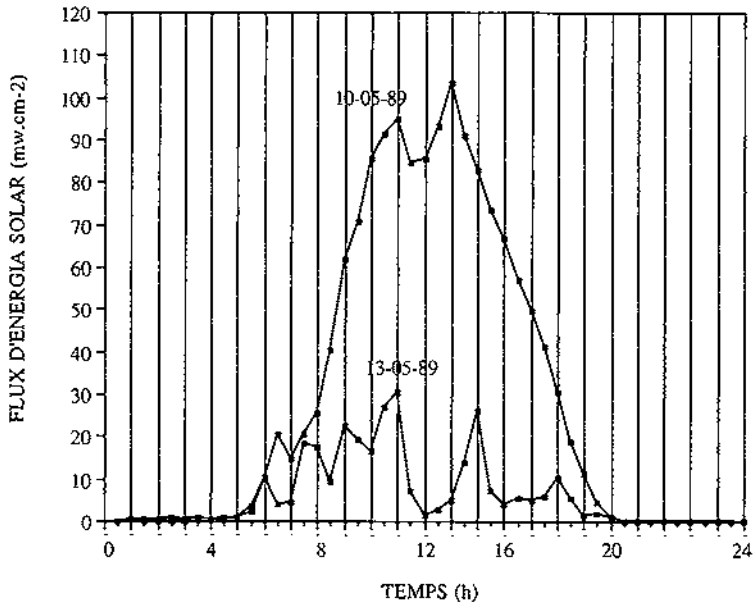


Figura 1a. Evolució de la radiació solar diària per a les estacions de primavera i estiu, sota dues condicions atmosfèriques diferents.

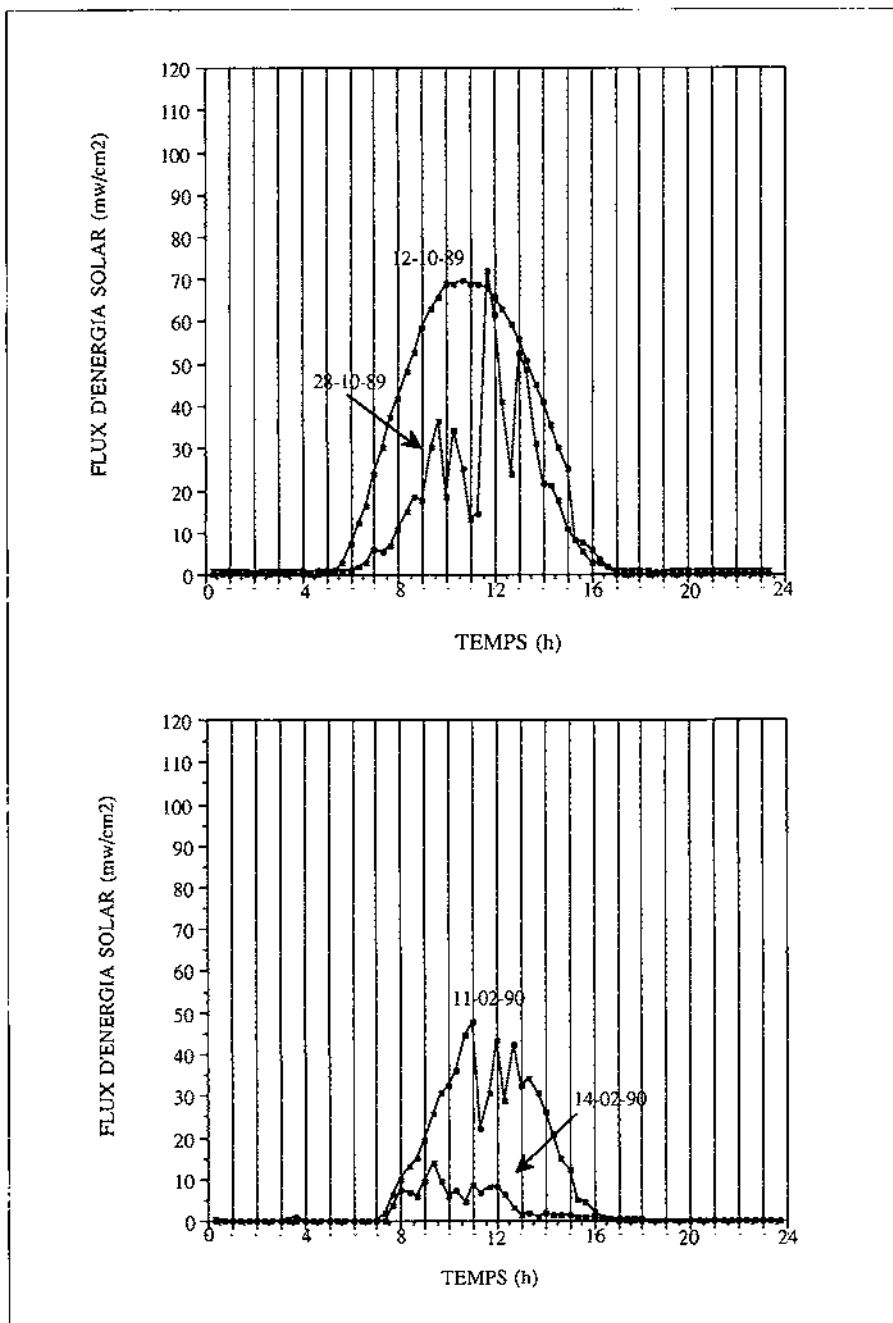
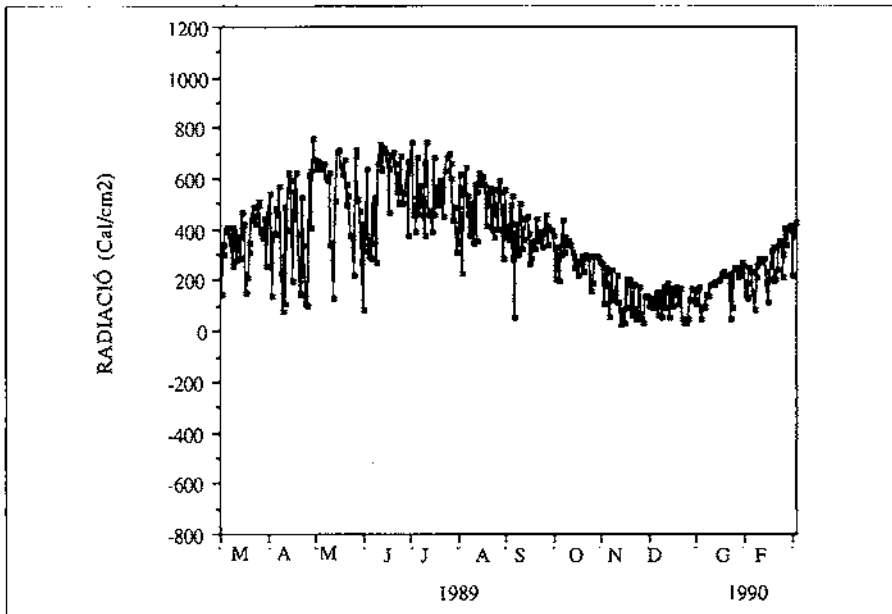
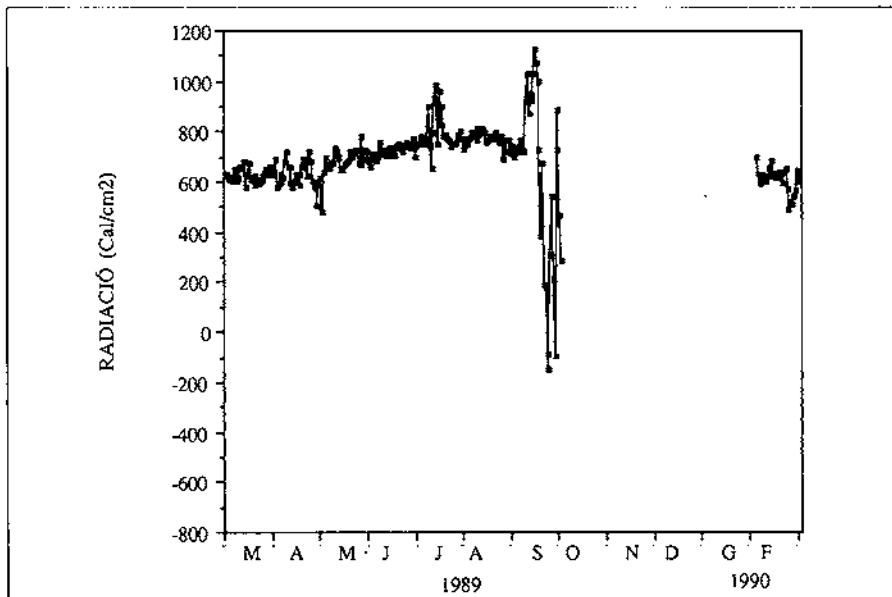


Figura 1b. Evolució de la radiació solar diària per a les estacions de tardor i hivern, sota dues condicions atmosfèriques diferents.



**Figura 2.** Evolució de la radiació solar o d'ona curta durant el període març-89/febrer-90.



**Figura 3.** Evolució de la radiació d'ona llarga durant el període març-89/febrer-90.



soïdal durant el període d'insolació, per a totes les estacions. Els màxims del flux de radiació solar es donen al començament de l'estiu amb un rang de magnituds de l'ordre de 100-110 mW/cm<sup>2</sup>. Podem observar com el període d'insolació és màxim a l'estiu, aproximadament 15 hores, i mínim a l'hivern, 8-9 hores. L'efecte dels núvols imposa irregularitats en les gràfiques sinusoidals, així com una reducció de la intensitat solar.

L'evolució de les dades diàries de radiació d'ona curta (Fig. 2), durant el període d'estudi, mostra clarament una variació sinusoidal en el temps. El seu valor positiu contribuirà a l'escalfament de l'estany. La mitjana del valor màxim mensual obtingut en l'estudi es dona al juny — 542 cal/cm<sup>2</sup>dia = 261 W/m<sup>2</sup>—, valor que es correspon a latituds properes com és el cas del Regne Unit amb un màxim de l'ordre de 200-300 W/m<sup>2</sup> (Henderson-Sellers, 1986). És de notar el rang dels valors diaris obtinguts pel juliol, entre 354 i 746 cal/cm<sup>2</sup>, i pel desembre, entre 28 i 190 cal/cm<sup>2</sup>.

L'evolució de les dades diàries de radiació d'ona llarga durant el període març-89/febrer-90 s'ensenyen a la figura 3. L'estany guanya energia per aquest tipus de radiació des de març fins a mitjan setembre, i febrer. És de destacar, tot i que no tenim dades corresponents al període 20-09-89/08-02-90, la poca variabilitat estacional entre març i agost i la variabilitat que s'observa al setembre, deguda principalment a la creixent massa nuvolar de la tardor, que es correspon amb el màxim

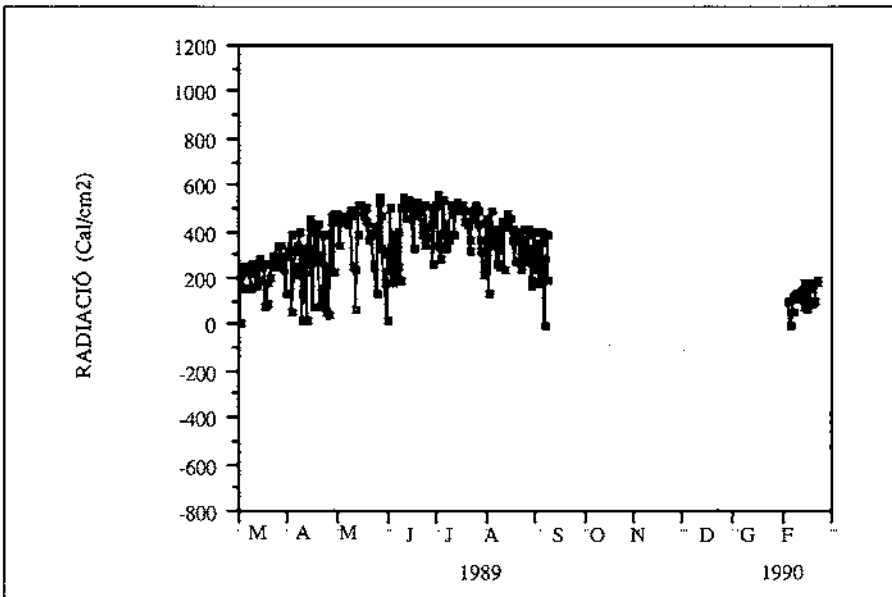


Figura 4. Evolució de la radiació total durant el període març-89/febrer-90.

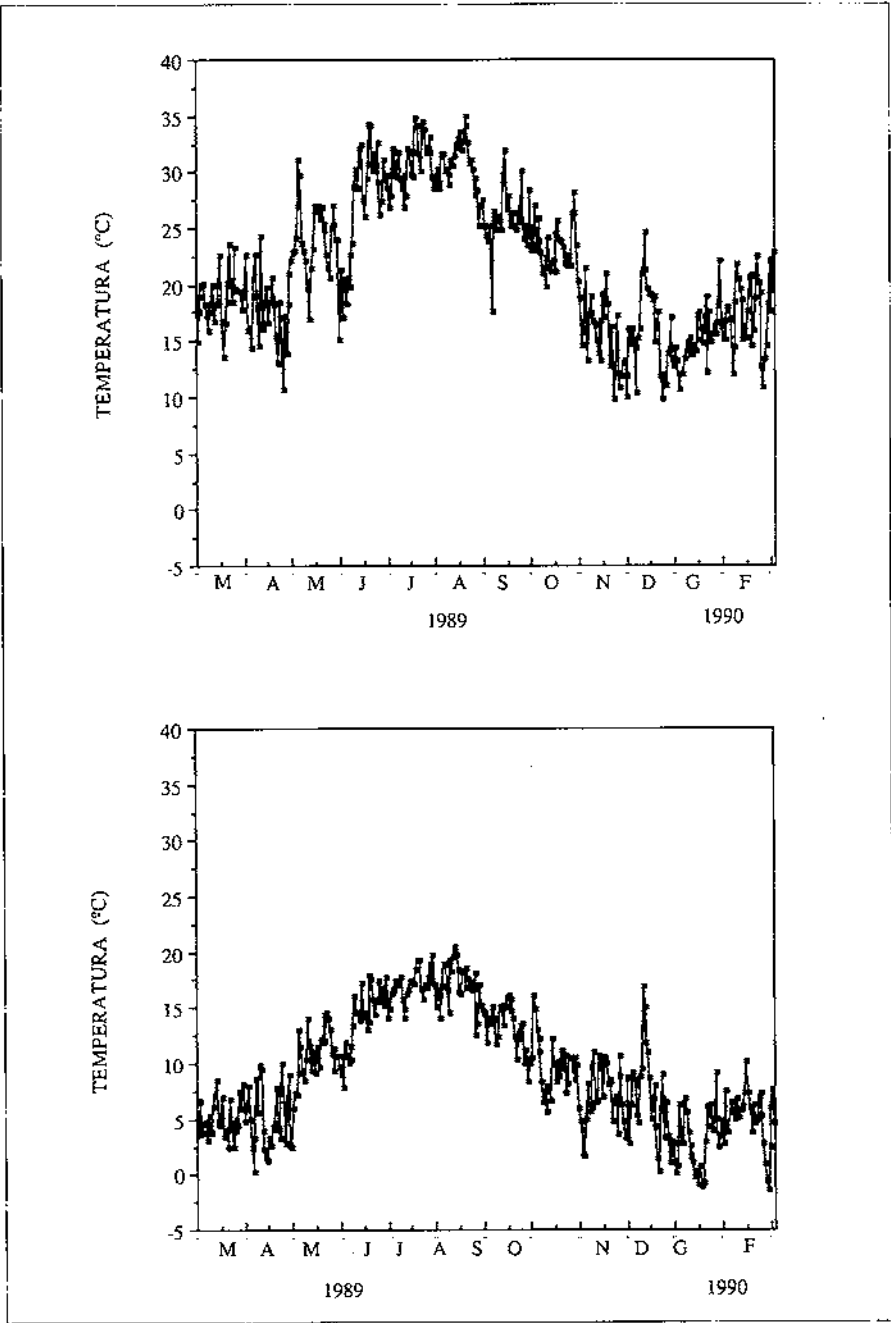


Figura 5a. Evolució de la temperatura màxima i mínima durant el període març-89/febrer-90.

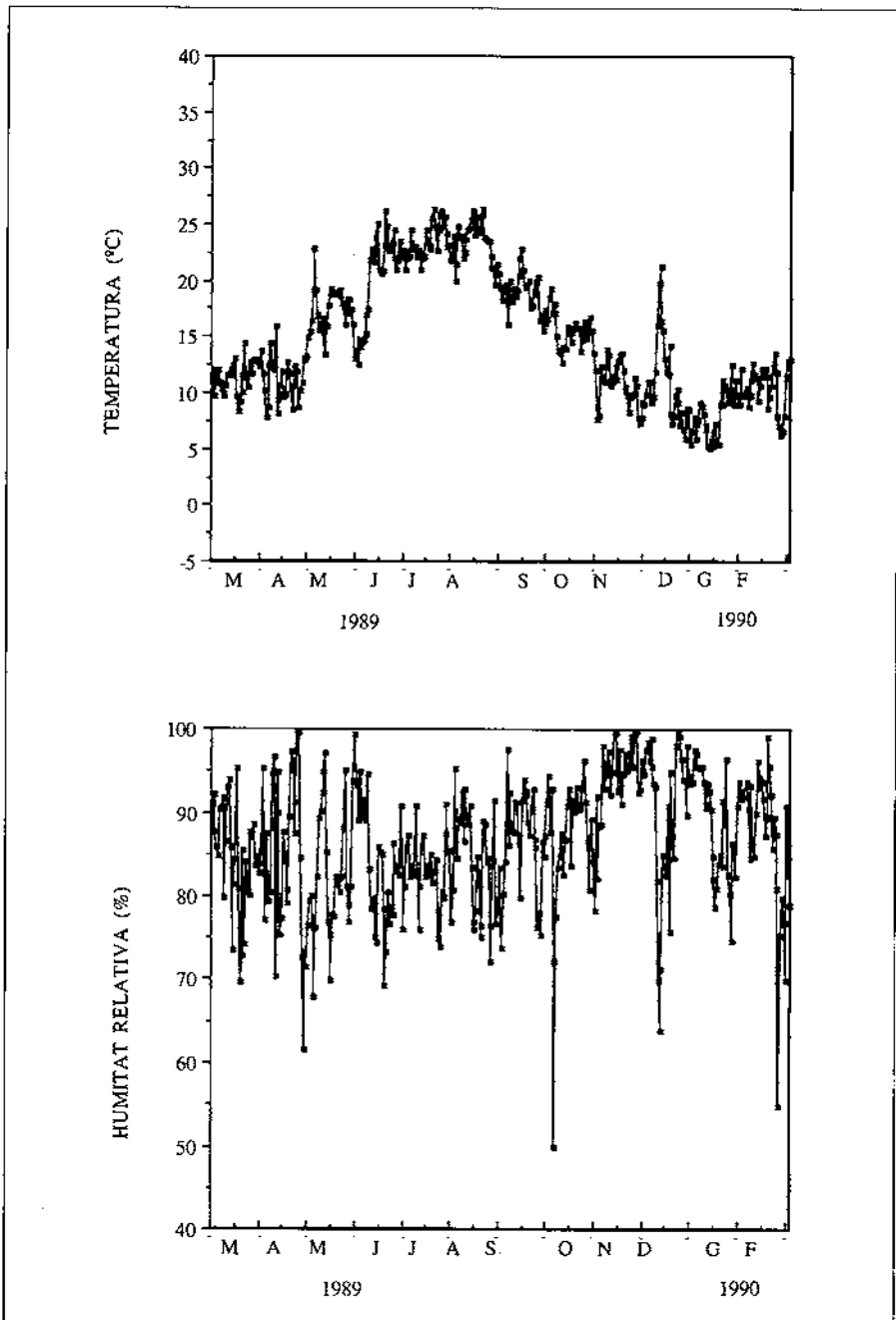


Figura 5b. Evolució de la temperatura mitjana i humitat relativa mitjana durant el període març-89/febrer-90.

de precipitació per a la tardor. Cal destacar els valors diaris màxims obtinguts al setembre, de l'ordre de 1050 cal/cm<sup>2</sup>, i els valors mínims obtinguts al maig, de l'ordre de 480 cal/cm<sup>2</sup>. La radiació d'ona llarga, així com la radiació d'ona curta provinent del Sol, incideix en la superfície de l'estany.

Si representem les dades corresponents a la radiació total, agafades pel pirgeòmetre (Fig. 4), observem una gran variabilitat a la primavera, en què es produeixen oscil·lacions més acusades que no pas a l'estiu i l'hivern. És a l'estiu quan les variabilitats no són tan extremes i quan la radiació total pren el seu valor màxim: 519 cal/cm<sup>2</sup>. Aquest fet és degut principalment a l'efecte dels núvols, de l'alta temperatura superficial de l'aigua, després d'un escalfament perllongat durant l'estiu i dels vents de llevant i de tramuntana, que, en conjunt, donaran lloc a una forta radiació de l'estany cap a l'exterior i a una elevada evaporació.

Les gràfiques de radiació solar, d'ona llarga i de radiació total ens mostren un estany temperat, que s'escalfa, ja que el balanç de radiació li és favorable. Aquestes variacions, que s'aproximen al tipus sinusoidal, al llarg d'un any queden també reflectides si representem les variables meteorològiques: Temperatura màxima i mínima (Fig. 5a), temperatura mitjana i humitat mitjana (Fig. 5b) durant el mateix període. En definitiva, variabilitats pròpies del clima mediterrani.

#### AGRAIMENTS

Agraïm al Laboratori Municipal de Limnologia de Banyoles la cessió de l'estació meteorològica a fi de disposar de les dades necessàries per a la realització d'aquest article.

#### Bibliografia

- CONSTANS, LI. (1981). *Banyoles*. Reedició Ajuntament de Banyoles.
- HENDERSON-SELLERS (1986). Calculating the surface Energy balance for lake and reservoir modeling: a review. *Reviews of Geophysics*, vol. 24, núm. 3: 625-649.
- KIRK, T.O.J. (1983). *Light and photosynthesis in aquatic ecosystems*. Cambridge University Press.
- MARTIN VIDE, J. (1987). *Característiques climatològiques en la franja costanera mediterrània de la Península Ibèrica*. Institut Cartogràfic de Catalunya.
- SANZ, M. (1981). *El sistema hidrogeològic de Banyoles-La Garrotxa*. Tesis Doctoral. UAB.