

LA METEOROLOGIA EN LA INVESTIGACION ECOLOGICA DE MONTAÑA

P O R

JUAN PUIGDEFÁBREGAS TOMÁS

Colaborador Científico C. S. I. C.
Centro Pirenaico de Biología Experimental

1. INTRODUCCIÓN

La influencia de los factores atmosféricos en la organización y funcionamiento de las comunidades biológicas es un hecho que desde antiguo llama la atención de los naturalistas. Ante variaciones regulares y predecibles de aquellos factores, el ecosistema tiende a desarrollar ritmos adaptativos que le permitan anticiparse a ellas. En realidad, la propia sucesión ecológica puede interpretarse como un proceso de internalización de la variabilidad ambiental, de tal manera que el ecosistema adquiere progresivamente un mayor grado de control sobre la misma.

En montaña, la variabilidad en el espacio y en el tiempo del ambiente atmosférico es de tal magnitud que su influencia sobre el funcionamiento y organización espacial del ecosistema debe tenerse aun mucho más en cuenta que en el llano.

El presente trabajo no pretende ofrecer una visión sistemática de las relaciones entre la meteorología y la investigación ecológica de montaña, sino más bien comentar algunos ejemplos representativos donde coinciden ambas disciplinas. Para ello procuraré referirme a experiencias vividas por los Centros del Consejo Superior de Investigaciones Científicas establecidos en Jaca, los cuales han encontrado siempre la mayor colaboración y entusiasmo en el Centro Meteorológico de la Cuenca del Ebro. Tal colaboración cristalizó a principios de la década de los setenta, en la instalación y mantenimiento coordinado de una red termoplúvimétrica de 54 observatorios en el sector occidental del Pirineo aragonés.

Intentaré representar aquí el papel de usuario de información meteorológica convencional. Excluiré por tanto los aspectos micrometeorológicos que, tanto por su metodología e instrumental como por sus objetivos, escapan a las instalaciones y, probablemente, a los intereses actuales del Instituto Nacional de Meteorología.

De esta perspectiva comenzaré por revisar algunos problemas sobre el origen de la información meteorológica. A continuación se comentarán las necesidades de información meteorológica en dos grandes temas de la ecología de montaña: la influencia de los factores climáticos sobre la biología de especies y comunidades, por un lado, y los procesos geomorfológicos, por otro. Por fin mencionaré algunos aspectos ecológicos de la nieve y terminaré resumiendo las principales necesidades de infraestructura meteorológica, que precisa el estudio ecológico del Pirineo.

2. ORIGEN DE LA INFORMACIÓN

El conocimiento meteorológico de los territorios montañosos, y del Pirineo en particular, con su complejidad de valles y formas de relieve, plantea dificultades especiales. Es evidente que no puede pensarse en una red de observatorios tan densa como para cubrir, con datos originales, todas las situaciones geográficas imaginables. Es necesario diseñar una infraestructura que, con la mínima densidad de observatorios permanentes, permita obtener un conocimiento progresivamente más detallado de la meteorología regional.

Una de las estrategias posibles, que nos ha dado buenos resultados en el Alto Aragón occidental, consiste en combinar tres dispositivos: una red termopluviométrica básica, de carácter permanente, transecciones topográficas y recorridos en vehículo. Los dos últimos se dirigen a objetivos diseñados por proyectos específicos, pero sus resultados pueden ser integrados gracias a la red básica.

La red termopluviométrica representa el armazón donde se apoyan e integran todas las demás observaciones ocasionales. Su densidad puede ser relativamente baja, alrededor de una estación por cada 200 Km², siempre que se planifique su localización. Un buen esquema en nuestra región consiste en disponer series paralelas a las grandes alineaciones del relieve: Pirineo axial, sierras interiores, zona de flysch, Canal de Berdún, Cuencas del Guarga-Onsella y sierras exteriores.

Los principales obstáculos para una buena localización de los observatorios son dos: el primero, la escasez de núcleos habitados por encima de 1400 m.s/M; el segundo, la situación de práctica gratitud con que actualmente funciona la observación. Muchas veces resulta difícil encontrar personas que se presten a realizar la lectura diaria, en las localidades idóneas.

Ambas dificultades son bien conocidas de todos nosotros, y también lo es el modo de superarlas. Sin embargo, no podemos dejar de mencionarlas aquí porque su solución, o por lo menos el planteamiento de una estrategia para acercarnos a ella, es imprescindible si queremos mejorar nuestro conocimiento meteorológico del Pirineo.

La primera dificultad, el mantenimiento de observatorios de altitud, sólo puede conseguirse mediante estaciones automáticas, salvo en casos muy excepcionales, como sucede actualmente en Góriz. A fin precisamente de obtener información meteorológica de la cota 2000, hace años intentamos la instalación

de dos estaciones con registros gráficos de revolución semanal en garitas convencionales, una de ellas en Candanchú (Tobazo) y la otra en Formigal (Tres Hombres). Debo señalar que la experiencia fue desalentadora; pasado el primer invierno tuvimos que levantar la instalación ya que el efecto *igloo* de la nieve acumulada por la ventisca en el interior de las garitas y las placas de hielo en los laterales, inutilizaba por completo los registros. Sería conveniente que el INM estudiara y experimentara varios modelos de estación automática, para seleccionar el más adecuado a las zonas de alta montaña.

La solución de la segunda dificultad, probablemente pasa por la mejora de las gratificaciones para los observatorios que se consideren incluidos en la red básica termopluiométrica. Para prever un orden de magnitud, las gratificaciones podrían situarse en unas diez veces los actuales premios. Esto no significa que deba prescindirse de la prestación voluntaria y gratuita de colaboración en la toma de datos; al contrario, conviene estimularla en todo momento, ya que sus aportaciones complementan el esqueleto constituido por la red básica.

Los estudios realizados en la red altoaragonesa muestran que, las relaciones entre los observatorios se mantienen relativamente constantes en el tiempo (CREUS, 1977), respecto a los factores meteorológicos asociados con la temperatura, es decir, que se puede definir un motivo o patua geográfica bastante estable. Por consiguiente, si disponemos de una red permanente de apoyo, podremos describir las variaciones topográficas del clima a partir de series de medidas cortas o incluso ocasionales. Desde este punto de vista, hemos utilizado dos sistemas: la instalación eventual de estaciones con registradores a lo largo de transectos topográficos y los recorridos en vehículo.

Las transecciones topográficas con estaciones controladas semanalmente nos han proporcionado información de gran interés. La instalada en el macizo de San Juan de la Peña (PUIGDEFÁBREGAS, y CREUS, 1978), por ejemplo, permite concluir que las solanas con suelo esquelético y poca capacidad de regulación hídrica, se calientan más que las umbrías durante el día pero, durante la noche, pueden enfriarse tanto o más que aquéllas. Las vertientes expuestas al sur expresan un matiz continentalizado del clima regional y albergan endemismos de afinidades mediterráneas (*Trinia glauca*, *Aethionema saxatilis*). Las orientaciones norte, por el contrario, exhiben un carácter "oceánico" con escasa oscilación térmica y constituyen refugio de los últimos testigos de la primitiva laurisilva terciaria (*Ramonda myconi*, *Ruscus aculeatus*).

Los recorridos en vehículo representan el sistema más versátil para obtener una idea rápida de los climas topográficos en lo que se refiere a temperaturas, humedad atmosférica y régimen de vientos. Exigen una cuidadosa preparación de los itinerarios para que, con varios vehículos, pueda asegurarse la obtención de los datos en el menor tiempo posible. La interpretación de los resultados se facilita mucho si se cumplen tres condiciones: a) procurar que los recorridos coincidan con situaciones atmosféricas generales representativas, b) describir la topografía detallada alrededor de cada punto de muestreo, c) cartografiar, en la zona de estudio, las variaciones relativas de la radiación incidente directa en función de la orientación, pendiente y obstrucción del horizonte.

Los resultados obtenidos en nuestro instituto por estos procedimientos son prometedores en lo referente a la descripción de inversiones térmicas por embolsamiento de aire frío (PUIGDEFÁBREGAS, 1970) y de los regímenes térmico y eólico del complejo coronas-vallonadas en la Canal de Berdún (CREUS, 1976).

Si, como antes se ha indicado, las relaciones entre los observatorios presentan una configuración estable respecto a los facores térmicos, no ocurre lo mismo respecto a la precipitación (CREUS, 1977). La distribución de ésta en montaña es un fenómeno complejo y todavía mal conocido. Depende de muchos factores, entre otros, de la dirección de los flujos de aire, efectos pantalla, forma de las vertientes, topografía circundante. Por todo ello la precipitación, no sólo exhibe una gran variabilidad en el tiempo, sino que el comportamiento de unos observatorios respecto a otros puede ser muy distinto según los años y episodios lluviosos.

Por otra parte, debe tenerse en cuenta que las observaciones de precipitación tienen dos tipos de uso, por un lado informan sobre los aportes de agua en un punto determinado que puede tener interés para un caso o problema concreto, pero por otro deben poder ser integradas en el espacio para evaluar el agua recogida por una cuenca o grupo de cuencas. Este segundo aspecto exige el establecimiento de modelos, para cada uno de los flujos representativos, que permitan una interpolación espacial a partir de las observaciones puntuales.

Para conseguir estos objetivos puede sugerirse una doble estrategia: de una parte, mantener y completar, sobre todo en alta montaña, una red pluviométrica permanente intercalada en la termopluiométrica; de otra, diseñar transecciones móviles que, instaladas unos pocos años en cada disposición, permitan conocer mejor la interacción flujo de aire-topografía en relación a la precipitación.

Por lo que respecta a los pluviómetros, existen indicios de que, sobre todo los totalizadores por encima de 1200 ms./M, infravaloran el agua realmente precipitada. A menudo se observan pérdidas, unas veces por defectos de construcción, otras debidas al vandalismo. En cualquier caso, los totalizadores colectan menos agua por efecto de la mayor altura de boca, de la mayor velocidad del viento en altitud y, sobre todo, porque la nieve no es bien recogida, máxime si las lecturas no se realizan diariamente. RIJCKBORST (1967) compara los datos de pluviómetro convencional a 1,50 m y lectura diaria con los de un totalizador contiguo, a 4,40 m y lectura semestral, en el puerto de la Bonaigua, a 2.000 m.s/M. Sus resultados indican un error por defecto para el segundo del 44 %. En alta montaña, parece pues necesario recurrir a un tipo de totalizador de boca caliente con calefacción autónoma.

Existe un último tipo de observatorio, vivamente deseado por el naturalista y, por desgracia, casi inexistente en el Pirineo. Se trata de las estaciones biometeorológicas o agrometeorológicas, aunque esta última denominación tiene un carácter más restringido. Realizarían tres lecturas diarias, y además de los datos propios de una temopluiométrica, ofrecerían los de humedad atmosférica, dirección y velocidad del viento, radiación incidente, horas de sol, eva-

poración en agua libre, evapotranspiración potencial en superficies herbosas normalizadas, temperatura y humedad en el suelo.

Estos observatorios, situados en ambientes representativos de los grandes dominios bióticos pirenaicos (carrascal, quejigal, robledal ácido, robledal de *Quercus pubescens*, pinar de *P. sylvestris*, hayedo, pinar de *P. uncinata* y pasto surtaforestal) proporcionarían información integrada, de gran utilidad para la gestión ordenada del paisaje y recursos naturales en la montaña. Además, ofrecerían un marco para la observación simultánea de fenómenos biológicos y meteorológicos que contribuiría no poco al desarrollo científico de la fenología.

Muchas de las variables indicadas se miden hoy en diversos puntos del Pirineo, pero es muy rara la coincidencia de todas ellas en un solo observatorio. Acaso la estación de Jaca (C. S. I. C.), representativa del quejigal, sea una de las más completas en este sentido, aunque no toma datos de evapotranspiración potencial y de humedad del suelo.

Un problema grave para la instalación de estos observatorios está en la dedicación que exigen. La atención del de Jaca, por ejemplo, requiere dos personas especializadas y empleadas a tiempo parcial. El establecimiento de convenios entre el INM y los organismos interesados en la red biometeorológica podría facilitar la coordinación del personal de uno y otros para atender este tipo de instalaciones y conseguir una mejor distribución del trabajo.

3. RELACIÓN ENTRE FACTORES METEOROLÓGICOS Y LA BIOLÓGIA DE ORGANISMOS O COMUNIDADES

El paralelismo entre las variaciones zonales, en altitud y latitud, del clima y de la vegetación despierta constantemente el interés del naturalista. Sin embargo, es preciso reconocer que nuestras ideas acerca del control climático sobre la gradación del paisaje vegetal son aun muy rudimentarias.

Se han propuesto numerosos índices que combinando algunos atributos climáticos, considerados determinantes, consiguen definir tipos de clima relativamente coherentes con las zonas o pisos de vegetación. La mayoría de tales índices empíricos dan buenos resultados cuando se aplican a grandes regiones y pequeña escala, pero son bastante ineficientes cuando se utilizan a escalas detalladas. Por otra parte, debido precisamente a su carácter empírico, apenas arrojan luz sobre los factores climáticos que directamente controlan los procesos biológicos en cuestión.

Probablemente este modo de enfocar el problema ha dado ya la mayor parte de sus frutos. Creo que para mejorar sustancialmente nuestras ideas al respecto es necesario aportar observaciones directas y simultáneas de fenómenos biológicos y climáticos. Sólo este tipo de información permite establecer correlaciones y levantar la pista de procesos que luego podrán ser estudiados por métodos ecofisiológicos. Todo esto no es otra cosa que *fenología* en sentido amplio, entendida como área de coincidencia y colaboración entre climatólogos, naturalistas y agrónomos. Veamos a continuación algunos ejemplos.

El primero se refiere a la detección de factores climáticos que controlan la distribución geográfica del pino negro de montaña (*P. uncinata*). Es bien sabido que la extensión y vigor de esta especie, máxima en el Pirineo central y oriental, va declinando hacia occidente, refugiándose en los crestones rocosos, donde la nieve es expulsada por el viento.

Estos hechos sugieren que la acumulación de nieve ejerce algún efecto negativo sobre la extensión o el desarrollo del pino negro. Una visita al extremo occidental de su área geográfica, la región kárstica de Larra en el Alto Roncal, confirma que, efectivamente, los árboles se concentran en las divisorias rocosas y no colonizan las dolinas, donde carga más la nieve. Sin embargo, una observación atenta a principios de verano, revela que la diseminación y primer establecimiento de las plántulas ocurre de manera bastante uniforme sobre el terreno. Se aprecia, además, que, en las laderas de los crestones, abundan los plantones de pino muertos. Durante la primavera, cuando las plántulas se encuentran envueltas en nieve fundente, sus acículas y ramillas son atacadas por hongos capaces de proliferar a temperaturas próximas a 0° C. La mayoría quedan deshojadas y, como el proceso se repite cada año, las plántulas, virtualmente convertidas en caducifolios, van debilitándose hasta morir. Únicamente llegan a sobrevivir aquellas que consiguen sobrepasar el espesor normal de la nieve, momento a partir del cual pueden desarrollarse con normalidad, aunque sus ramas inferiores deshojadas testimonian las dificultades que sufrieron en los primeros años.

T A B L A 1

Control climático del crecimiento radial del fuste en ejemplares de Pinus uncinata (Larra Alto Rocal), utilizando un modelo de regresión múltiple paso a paso. (PUIGDEFÁBREGAS, 1981).

Factor	Efecto sobre el crecimiento	Varianza de los crecimientos explicada por la regresión	
		Por el factor individual tras el efecto de los anteriores	Acumulando los efectos de los factores incorporados
Temp. mínima media abril - mayo del año en curso.	Positivo	26,9	26,9
Precipitación julio del año en curso.	Positivo	15,0	41,9
Temp. máxima media agosto-septiembre del año anterior.	negativo	23,5	65,4

Nota : Datos climáticos procedentes de Candanchú (1952-68).

Fenómenos semejantes, referidos a *Pinus sylvestris*, han sido observados en los Alpes y en la tundra arbolada (WALTER, 1968). Tenemos pues un primer factor importante en el control de la regeneración y expansión de nuestro pino, la frecuencia de un manto nivoso espeso que permanezca largo tiempo en condiciones de isoterminia a 0°; a temperaturas inferiores las micosis no pueden prosperar.

Los árboles adultos están sujetos a otro tipo de factores. El estudio dendrocronológico de series también procedentes de Larra (PUIGDEFÁBREGAS, 1981), indica que tres factores climáticos explican el 65 % de la varianza exhibida por el crecimiento anual de los anillos (Tabla 1). Ninguno de ellos tiene que ver con el frío invernal, todos se refieren a la estación vegetativa. Los favorables pueden asociarse al predominio de situaciones ciclónicas u oceánicas, con veranos frescos y primaveras suaves, mientras que los desfavorables, veranos cálidos con primaveras frías, son más propios de situaciones anticiclónicas. Este efecto del calor estival, probablemente desequilibrando el balance respiración/fotosíntesis en detrimento de la segunda, puede ser un factor muy general en el control de la distribución geográfica de taxones nórdicos o de al-

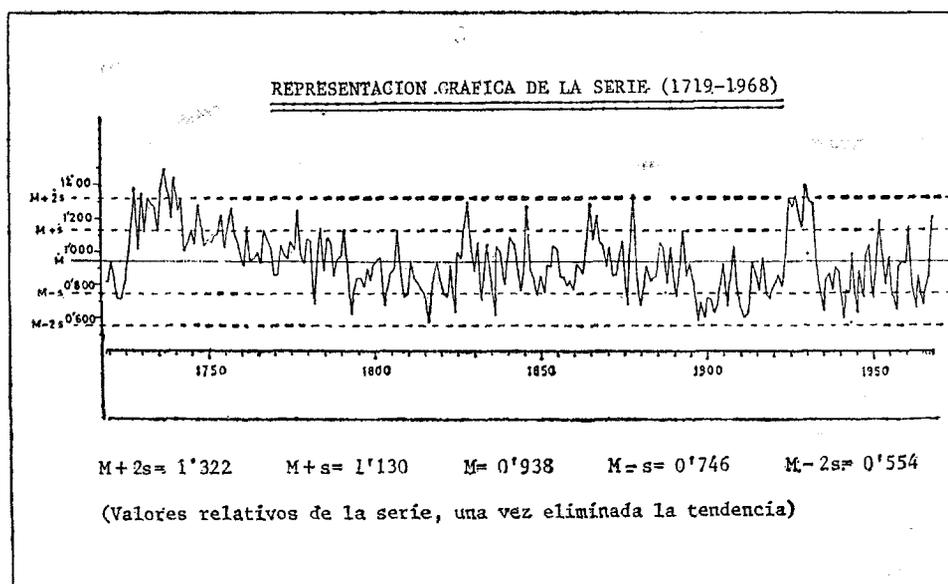


FIG. 1. — Serie dendrocronológica correspondiente a *Pinus uncinata* (Larra, Alto Roncal). (Período 1719-1968).

titud. Numerosas especies de alta montaña, en el límite inferior de su área, presentan distribuciones restringidas a umbrías y vaguadas, donde la mayor transpiración permite controlar el ascenso térmico de las superficies vegetales.

Por otra parte, esta interpretación permite examinar la serie dendrocronológica (Fig. 1) y darnos idea de los rasgos climáticos de la época vegetativa durante los últimos siglos. A lo largo del siglo 18 las condiciones climáticas se

deterioran progresivamente haciéndose cada vez más continentales. A partir de 1850, la serie deja de mostrar una tendencia a largo plazo para exhibir una sucesión de micropulsaciones, que en los períodos 1810-20 y 1890-1910 presentan un acusado carácter continental.

La continentalización paulatina durante el siglo 17 se relaciona, probablemente, con el desplazamiento hacia el norte de la ruta de las borrascas atlánticas, circunstancia que dio lugar a la terminación de la llamada "pequeña edad del hielo". Durante la estación vegetativa, el clima se fue haciendo más cálido y seco. Este cambio, extendiéndose a lo largo de casi un siglo, otorga al pino cierta ventaja competitiva sobre el haya, por lo que resulta justificado pensar en una modificación de las proporciones relativas de ambos durante el siglo XVIII y primer cuarto del XIX.

Las oscilaciones climáticas a partir de 1850 ocurren de manera mucho más aleatorias y abarcan grupos de años demasiado reducidos para afectar a la composición de la vegetación arbórea. Por el contrario, sí pueden haber influido en la composición de los pastos de una región como la nuestra, situada en el área de conflicto entre las influencias mediterráneas y atlánticas. Estudios geobotánicos (Montserrat, 1971) sugieren que la sucesión en el tiempo de períodos de uno u otro tipo favorecen la formación de mosaicos con elementos de carácter mediterráneo o atlántico que se contraen o dilatan según el clima predominante.

Esta cuestión de la variabilidad climática interanual nos lleva a considerar otros ejemplos de su influencia ecológica. Veíamos al principio que, cuando los cambios ambientales son repetitivos, el ecosistema se adapta a ellos con relativa facilidad desarrollando ritmos controlados por mecanismos anticipativos. Así sucede en montaña con el frío invernal; es un fenómeno tan predecible que todas las comunidades bióticas han adaptado a él sus ciclos biológicos anuales. El problema grave está en la primavera, estación especialmente variable en cuanto a temperaturas, heladas tardías y precipitaciones.

La adaptación de las comunidades a la variabilidad primaveral es más compleja y no puede conseguirse mediante sistemas anticipativos. De hecho, la respuesta ecológica ante este factor tiene siempre el mismo aspecto: la preservación de una mayor heterogeneidad genética. La ventaja competitiva de la heterogeneidad genética en ambientes con cambios impredecibles puede observarse en muchos ejemplos altoaragoneses y constituye desde luego un factor de primer orden en la organización de las comunidades.

Los ejemplos son muy diversos. Los encontramos en los quejigos, complejo de híbridos con enorme variabilidad individual en la fecha de brotación; en lagartijas (*Lacerta monticola*), con frecuencia de mutantes superior a la normal (MARTÍNEZ RICA, 1977), incluso en técnicas tradicionales de cultivo, como la siembra de alcaceres o mezclas de cereales. En todos los casos el resultado es el mismo: las primaveras malas no son malas para todos los individuos a costa de que las buenas tampoco lo sean para todos. Así se asegura la supervivencia de la población o un nivel mínimo de producción.

No querría terminar estas consideraciones sobre la importancia de la variabilidad climática primaveral sin mencionar un hecho de gran trascendencia económica en nuestra región. Se trata de las condiciones meteorológicas que aseguran el henificado del primer corte de herba de la temporada. La época en que éste se realiza, mayo-junio, suele ser bastante lluviosa. circunstancia que compromete seriamente el secado de la hierba. Estimaciones realizadas por el Ministerio de Agricultura (LATORRE et *Allia*, 1976) indican que alrededor del 50 % de ese primer corte se pierde cada año por lluvias imprevistas. La predicción a corto plazo de períodos secos (4-6 días) durante estos meses, constituiría sin duda una aportación de primer orden a la mejora de la agricultura pirenaica.

4. ESTUDIOS DE PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS Y CICLOS BICEQUÍMICOS

Otro de los grandes campos de la ecología donde resulta imprescindible la información meteorológica es el estudio de procesos que controlan los flujos materiales en el ecosistema. Por flujos materiales entendemos no sólo los de partículas en suspensión y los movimientos masivos del sustrato que integran los procesos erosivos, sino también los flujos de sustancias disueltas que circulan a lo largo de las cuencas hidrográficas formando parte de los grandes ciclos geoquímicos. Estos se hallan, a su vez, controlados por el sector biótico del ecosistema, el cual intercala ciclos (biológicos), de menor amplitud, y por la propia actividad del hombre que produce concentraciones locales de determinadas sustancias (polución).

Este tipo de procesos constituye un área de confluencia de la geoquímica, la meteorología, la hidrología, la geomorfología y la ecología. En montaña, donde predominan los sistemas vectoriales de transporte, con flujos dirigidos por la gravedad, el estudio de estos temas resulta básico para comprender la dinámica del paisaje y construir una ciencia predictiva, susceptible de ser aplicada a los grandes problemas de la gestión de nuestros recursos naturales.

Un común denominador de todos los procesos que nos ocupan es el agua como vehículo de transporte. La tabla 2 presenta un sencillo ejemplo que contempla una parte del flujo de materiales disueltos: el paso de la precipitación incidente, cuando atraviesa las copas del bosque y llega al suelo. Se observa que una parte importante (27 %) del agua precipitada, moja las copas y se evapora antes de llegar al suelo. Además, se comprueba el efecto de lavado sobre la fitomasa, el cual incluye la deposición atmosférica seca y produce un cambio sustancial en el flujo de los elementos más móviles. Así, el potasio sufre incrementos de casi 25 veces, mientras que los más fijos, como el calcio, apenas duplican el flujo incidente y los más sujetos a retención biológica, como el nitrógeno, se mantienen casi inalterados.

T A B L A 2

Importación de nutrientes (en mg/m² año) con la precipitación y modificación de los frujos por efecto del lavado de las copas en un rodal de pinar (P. sylvestris) con acebo de San Juan de la Peña, a 1.230 m.s/M.

	Agua mm	N	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn
Incidente (I)	943	596	15,8	39,2	161	1160	304	13,6	7,81
Transcolada (T)	688	628	33,0	977	367	2155	485	32,3	88,8
T/I	0,73	1,05	2,09	24,9	2,28	1,86	1,60	2,37	11,4

Datos de B. Alvera correspondientes al período 1971-79.

El estudio cuantitativo de estos fenómenos y otros, como las precipitaciones ocultas en bosques captadores de agua —cejas de hayedos al noroeste de los grandes cantiles (Canciás, San Juan de la Peña)—, requieren siempre una medición cuidadosa de la precipitación incidente y del agua evacuada por los exutorios.

La medida de caudales para evaluar las salidas exige instalaciones costosas y presenta problemas específicos, pero sin duda proporciona resultados más exactos que los de precipitación. Ya hemos comentado la dificultad de integrar valores de precipitación en cuencas completas de montaña. Cuando se manejan promedios de varios años, pueden obtenerse correlaciones aceptables entre la precipitación y la altitud, sobre todo si se utilizan predictores adicionales, como la topografía circundante (HERNÁNDEZ et *Allia*, 1975) o las coordenadas geográficas (GARCÍA-RUIZ et *Allia*, 1975). De esta manera es posible cuadrar aceptablemente balances de agua, distinguiéndose, por ejemplo, las cuencas que sufren pérdidas subterráneas o la variación anual del déficit de escorrentía debida a la retención nival o recarga del suelo (GARCÍA-RUIZ et *Allia*, 1981).

Sin embargo la estimación del agua precipitada deviene mucho más imprecisa cuando se trata de períodos cortos o de episodios lluviosos individuales. Antes indiqué el interés de un programa de evaluación de la precipitación en el Pirineo que, sin duda, debería realizarse en ambas vertientes de la cadena con la colaboración de Francia.

En muchas ocasiones, los estudios que comentamos, sobre todo los relacionados con la erosión, requieren el dato diario o, mejor aun, la intensidad de la precipitación. La explotación de las series pluviométricas a nivel de dato diario se realiza hoy con dificultades. El personal de los Centros Meteorológicos ayuda todo lo que puede al usuario que los solicita, pero es evidente que un inventario con evaluación, homogeneización y mecanización de las series disponibles por parte del INM, facilitaría mucho al usuario el aprovechamiento de las mismas.

Los datos de intensidad de precipitación requieren una red pluviográfica, cuyo mantenimiento será difícil porque el pluviógrafo es un aparato delicado que suele someterse a fuertes rigores de hielos y nieves. La necesidad de conocer la intensidad de precipitación en 30 minutos, muy común en prospectiva de erosión, excluye los instrumentos de tambor con rotación semanal. El pluviógrafo ideal para zonas de montaña sería un aparato de lenta velocidad de registro, robusto, de boca caliente y con calefacción autónoma (propano).

5. LA NIEVE

La transcendencia ecológica de la nieve en alta montaña es cosa evidente. De una parte, tiende a regular el ciclo del agua; de otra, por su peso, espesor y movimiento determina en gran parte la estructura espacial de las comunidades. Sin embargo, desearía destacar aquí un aspecto del fenómeno nivoso del que quizá se habla menos, se trata de su fusión.

En el Pirineo pueden distinguirse dos grandes ambientes nivosos, el de la zona axil, con gran innivación acompañada de fusión brusca y tardía y el de las solanas en el borde meridional de las sierras interiores, con escasa innivación acompañada de fusión precoz y progresiva. La primera situación tiende a producir amplias áreas inundadas en el fondo de los valles durante la primavera tardía; la segunda, ya en febrero, deja zonas amplias de suelo descubierto que son presa de intensa actividad periglaciaria, alimentada por el flujo subcortical procedente de la fusión lenta.

La importancia ecológica de tales fenómenos comienza sólo a vislumbrarse. La precipitación líquida sobre suelo helado o inundado produce una escorrentía superficial inmediata, de manera que puede ocasionar avenidas y desencadenar numerosos procesos erosivos. Se ha conseguido modelar de manera aceptable el proceso de fusión en función de factores meteorológicos (CHARBONNEAU, 1981), pero la interacción del agua de fusión con el suelo y la vegetación está todavía muy poco conocida.

A pesar de su importancia, debemos constatar la escasez de medidas de nieve en el Pirineo. Aún las más elementales, como espesor y equivalente de agua son raras y casi siempre se toman de manera deficiente. Sabemos que los pluviómetros infravaloran la precipitación nivosa y el uso de placas móviles no es general, ni tampoco la medición de equivalentes de agua después de cada nevada.

Ante esta situación es urgente el establecimiento de un programa a largo plazo que integre los esfuerzos de organismos e instituciones interesadas en el problema. Un tal programa, seguramente debería comprender tres aspectos:

- a) Instalación de una red de observatorios nivométricos por encima de la cota de 1400 m.
- b) Instalación de jalones en pequeñas zonas representativas alrededor de los observatorios antes mencionados y evaluación periódica de equivalentes de agua.

- c) Aprovechamiento de la información espacial (Landsat y satélites meteorológicos) para evaluar superficie y características del manto nivoso con referencia a los observatorios en tierra.

6. CONCLUSIONES

Hemos visto que la investigación de recursos naturales en montaña necesita ineludiblemente de un soporte meteorológico. En el caso concreto del Pirineo existen ya numerosos estudios y buenas series de observación en algunos puntos, pero convendría reforzar los siguientes aspectos:

1. Establecimiento de una sistemática de las situaciones atmosféricas generales, con clasificación de los estados de tiempo representativos. Este trabajo sería muy útil para la investigación de climas topográficos sobre el terreno.
2. Inventario de las series disponibles, evaluación, homogeneización y mecanización de los datos.
3. Mejoras en la infraestructura de observación; diseño de cuatro redes básicas, permanentes y bien localizadas: termopluviométrica, pluviométrica, nivométrica y biometeorológica.
4. Configuración y desarrollo de dos grandes programas de estudio que, a ser posible, comprendan ambas vertientes.
 - a) *Precipitación en el Pirineo*: evaluación y modelos topográficos de distribución según las características de las masas de aire que la originan.
 - b) *Innivación en el Pirineo*: Superficie, espesor, equivalente de agua y dinámica del manto nivoso; estudios sobre generación de avalanchas y procesos de fusión.

No cabe duda de que los objetivos señalados, sobre todo los dos últimos, no pueden alcanzar de la noche a la mañana y requieren la colaboración de todos los organismos interesados. Sin embargo, sí creo que pueden integrarse en un plan de actuación a largo plazo coordinado por el INM y al que, estoy seguro, los centros del C. S. I. C. en Jaca prestarían todo su apoyo.

BIBLIOGRAFIA

- CHARBONNEAU, R., LARDEAU, J. P.; OBLED, C., 1981. — Problems of modelling a high mountainous drainage basin with predominant snow yields *Hydrological Sci. Bull.*, 26 (4-12): 345-361.
- CREUS, J., 1976. — Notas sobre el régimen térmico de las "coronas" y "paules" en el Campo de Jaca. *Publ. Cent. pir. Biol. exp.*, 7 (1): 59-72, Jaca.
- CREUS, J., 1977. — *El Clima del Alto Aragón Occidental*. Memoria Doctoral. Universidad Navarra: 421 p. Pamplona.
- GARCÍA-RUIZ, J. M.^a; PUIGDEFÁBREGAS, J. y CREUS, J., 1981. — *Evaluación de los recursos hídricos superficiales de la provincia de Huesca*. Excma. Diputación de Huesca. (Xeroscop.: 840 p.).
- HERNÁNDEZ, J. A.; GARMENDÍA, J.; HERNÁNDEZ, E. y SÁNCHEZ, J. F., 1975. — Importancia de la laplaciana de la altitud en las cantidades de precipitación recogidas. *Revista de Geografía*, 34 (1-2): 25-40. Madrid.
- LATORRE, S. et *Allia.*, 1976. — Inventario de recursos Agrarios de la Jacetania. Ministerio de Agricultura. Del. Huesca: (Informe xeroscop.). Huesca.
- MARTÍNEZ-RICA, J. P., 1977. — Observaciones ecológicas sobre *Lacerta monticola bonnali*, Lantz en el Pirineo Español. *Publ. Cent. pir. Biol. exp.*, 8: 103-122. Jaca.
- MONTSERRAT, P., 1971. — El clima subcantábrico en el Pirineo occidental español. *Pirineos*, 102: 5-19. Jaca.
- PUIGDEFÁBREGAS, J., 1970. — Características de la inversión térmica en el extremo oriental de la Depresión interior altoaragonesa. *Pirineos*, 96: 21-50. Jaca.
- PUIGDEFÁBREGAS, J., 1981. — *El pinar altoaragonés de P. sylvestris: estructura y producción primaria neta*. Memoria Doctoral. Universidad Navarra: 757 p. Pamplona.
- PUIGDEFÁBREGAS, J. y CREUS, J., 1978. — Climas topográficos en montaña: un ejemplo en el macizo de San Juan de la Peña (Huesca). En *Avance sobre la Investigación en Bioclimatología*. Centro Edafología y Biología Aplicada de Salamanca: 72-84. Salamanca.
- RIJCKBORST, H., 1967. — *Hydrology of the upper Graonne basin (Valle de Arán, Spain)*. Leidse Geologische Mededelingen, 40: 1-74. Leiden.
- WALTER, H., 1968. — *Die vegetation der Erde Bd II: Die gemässigen und arktischen Zonen*. Gustaw Fisches Verlag. 1001 p. Stuttgart.