

Juan Antonio de Cara García.
Servicio de Aplicaciones
meteorológicas. I.N.M.

La observación fenológica en agrometeorología

El desarrollo de los insectos y sus hábitos reproductivos dependen de la adaptación estacional.
Foto: Alvaro López.



L

La **fenología** es la ciencia que estudia los fenómenos biológicos que se presentan periódicamente acomodados a ritmos estacionales y que tienen relación con el clima y el curso anual del tiempo atmosférico en un determinado lugar. Se trata de una disciplina fenomenológica, es decir fundamentalmente descriptiva y de observación, que requiere método y precisión en el trabajo de campo. Utiliza conocimientos de fisiología, ecología y climatología; y tiene aplicaciones sobre todo en agricultura, pero también en ganadería, silvicultura y conservación de la naturaleza.

Con el paso de las estaciones se observan en los campos y montes una serie de cambios que tienen relación con la evolución del tiempo atmosférico a lo largo del año, así como con el carácter de éste respecto al clima normal de un territorio. Estos cambios afectan a la morfología y fisiología de plantas y animales silvestres, a la composición de las biocenosis de los ecosistemas y a la evolución de los cultivos; en general al aspecto del paisaje rural y a gran parte de la actividad en el sector agrario. Es muy importante, para los animales y las plantas de regiones templadas o frías, adaptarse a las estaciones. La adaptación estacional se observa en distintos ciclos, tanto de actividad y letargo en plantas y animales, como en los de desarrollo, especialmente en insectos y plantas; también se aprecia en los hábitos reproductivos de los animales, en los comportamientos migratorios, o en la muda y crecimiento de pelaje y plumaje.

En la vegetación hay que destacar los siguientes cambios morfofisiológicos, que van acompañados de cambios en la distribución de la producción de masa entre los distintos órganos de la planta: ger-



minación de semillas, brotación de yemas, floración, caída de las hojas, maduración de los frutos o ahijado y espigado de cereales. Respecto a la fauna de vertebrados, los cambios morfofisiológicos tales como: desarrollo de las gónadas y periodo de celo, cambios de pelaje o plumaje, acumulación de grasa, caída de cuernas, etc., suelen ir acompañados de cambios de comportamiento como: la llegada y emigración, sobre

todo de algunas aves, sus cantos y paradas nupciales, los combates rituales de algunos machos de mamíferos en la época de apareamiento y los letargos de algunas especies de mamíferos, así como de anfibios y reptiles; respecto a los insectos es interesante el comienzo de su actividad como forma adulta, después de haber pasado el invierno como huevo resistente y sufrir algún tipo de metamorfosis.

LA FENOLOGÍA COMO DISCIPLINA CIENTÍFICA: APLICACIONES

A los fenómenos biológicos observables que constituyen cambios o transformaciones en un escaso periodo de tiempo se les denomina fases fenológicas, y al intervalo que transcurre entre dos fases sucesivas se le denomina etapa. En agronomía se describen con precisión unos estados-tipo caracterizados



La floración y fructificación de los vegetales son favorecidas por la luz y el calor. Foto: Luis Merino. Naturmedia.

por un aspecto fisonómico concreto. Lo más normal es que exista un período crítico; éste es un intervalo de tiempo, generalmente de dos o tres semanas antes o después del inicio de una determinada fase, en el cual una cierta especie presenta una sensibilidad máxima a un determinado elemento meteorológico. Los datos obtenidos reflejan la cronología de la aparición o comienzo de una determinada fase en un espacio geográfico concreto y se suelen reflejar mediante las isofenas o líneas de igual fecha. Estos datos pueden ser utilizados como descriptores tanto del clima local como de los agrosistemas y ecosistemas naturales en los que influye.

Las observaciones fenológicas para la investigación agrícola o ecológica son de alta precisión y se realizan en estaciones o lugares experimentales, en este caso el personal debe ser altamente cualificado. Otras observaciones están destinadas a la toma de datos para un uso operativo o acción administrativa en un plazo relativamente inmediato, en un espacio geográfico comarcal o regional y con fines normalmente encaminados a la toma de decisiones relacionadas con las labores agrícolas, para ello son adecuadas las estaciones u observatorios agrometeorológicos. A nivel nacional las observaciones se suelen utilizar para describir y estudiar el clima del país; en este caso las redes de observación suelen ser poco densas, y se ocupan tanto de las especies agrícolas y silvestres como de las labores del campo; además lo más normal es que se lleven a cabo por personal colaborador voluntario y poco especializado.

En la observación fenológica de tipo climático, sobre todo si es a nivel nacional, lo más adecuado es no utilizar especies agrícolas o de jardinería, para evitar la influencia de la gran variabilidad genética y de las labores o actividad humana. Se deben utilizar especies silvestres en un ambiente natural que además reúnan las siguientes características: facilidad de identificación,

relativa abundancia, amplia distribución y que sean suficientemente estudiadas o conocidas en cuanto a sus requerimientos ambientales. En cualquier caso hay que analizar los datos fenológicos con precaución, ya que el clima no es el único factor ambiental que incide en el desarrollo o comportamiento de las especies; así podemos destacar el papel de las características fisicoquímicas del suelo y su estado de humedad, la topografía de la zona e incluso la influencia de factores ambientales bióticos como la competencia, sin olvidar la diversidad de genotipos.

En agricultura en general, las mejores especies a observar son los frutales, especialmente si no se cultivan con riego. Dentro de las aves, en la península Ibérica se pueden utilizar especies estivales tan características como por ejemplo: autillo, abubilla, cuco, oropéndola, golondrina común, vencejo, collalba ru-

bia, tórtola, avión común, abejaruco, codorniz o ruiseñor; y, en el caso de las invernantes: grulla, torcaz, avefría y ánade real.

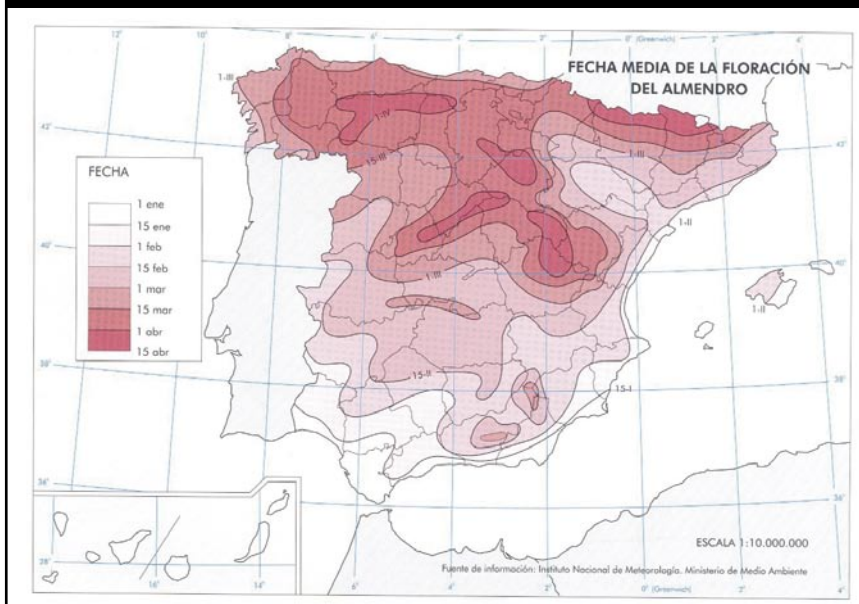
ASPECTOS ECOFISIOLÓGICOS

Las distintas fases fenológicas son respuestas ecofisiológicas basadas en procesos bioquímicos que responden a cambios en el ambiente físico relacionados con ritmos estacionales. En el caso de las plantas y de los insectos, el desarrollo se puede definir como una secuencia de eventos fenológicos que constituyen su ciclo de vida, de forma que cada fase se caracteriza por morfologías y procesos fisiológicos distintos. La mayor parte de los fenómenos observados en fenología siguen ciclos anuales y se aprecia que ocurren cada año por la misma época pero en fechas concretas normalmente distintas. El factor fundamental que influye en la fenología

Muchas aves se desplazan cada año entre los lugares de invernada y de cría, aunque algunas especies estivales, como las cigüeñas, se están haciendo parcialmente sedentarias. Foto: Roberto Anguita. Naturmedia.



Mapa medio de la floración del almendro para el periodo 1971-2000. Elaborado por el Servicio de Aplicaciones Meteorológicas del INM para el Atlas Nacional de España (Ministerio de Fomento).



Los datos fenológicos son de gran importancia para entender los procesos de interacción entre la atmósfera y la biosfera, sobre todo de cara a las aplicaciones agrarias y como complemento en los estudios de cambio climático.

de las especies es el fotoperiodo o duración relativa del día y la noche, el cual sirve para reconocer de forma fidedigna la época del año, pero a su vez éste es modulado por variables climáticas como la temperatura, la precipitación, la insolación o la humedad relativa, y climático-edáficas como la humedad del suelo. Por ello, el curso anual del tiempo atmosférico sirve para concretar las fechas en las que se inician los mecanismos fisiológicos.

En cuanto a los requerimientos de luz diurna para que se inicien los procesos de floración y fructificación en las plantas, se distinguen plantas de día largo, de día corto e indiferentes. El control fotoperiódico de las distintas fases fenológicas se lleva a cabo por un mecanismo que es independiente de la temperatura: la fotoconversión del fitocromo. En los insectos la diapausia se produce cuando se suprime la secreción de una hormona debido al efecto de las noches largas; en este caso la fotorrecepción se hace por la cabeza. También el fotoperiodo controla los ritmos estacionales en los vertebrados y seguramente, en la mayoría de ellos, se sigue la secuencia descrita en los trabajos que Beniot llevó a cabo durante los años 1950-1960. Así, la luz hace que los fotorreceptores del ojo y del cerebro (órgano pineal) envíen impulsos nerviosos al hipotálamo, el cual producirá hormonas que a través de los vasos

sanguíneos del sistema portal llegan a la adenohipófisis, la cual a su vez, al ser estimulada, elabora hormonas que regulan una amplia gama de funciones corporales.

En los vegetales las sustancias químicas reguladoras implicadas en el desarrollo y crecimiento son la auxina, las giberelinas, las citoquininas, el etileno y el ácido abscísico. En la actualidad se consideran algunos posibles modelos de control hormonal múltiple, con integración de todas estas sustancias; por otra parte, es probable que existan hormonas por descubrir. Uno de los procesos más importantes es el de la floración; ésta parece que es inducida, en frutales tanto caducifolios de clima templado como subtropicales, por el estrés que producen las temperaturas bajas y la sequía; la putresina es la sustancia que determina la inducción de una yema floral y las giberelinas modulan este proceso.

En el siglo XVIII los fisiólogos vegetales observaron que las temperaturas elevadas hacen que las plantas de una determinada especie, a igualdad de otros factores, pasen por las distintas fases de su desarrollo más rápidamente. Ya era conocido por la gente de campo que la floración y la fructificación de los vegetales son favorecidas por la luz y el calor.

Por debajo de unas temperaturas umbrales características de

cada especie, no se experimenta un crecimiento sensible al reducirse notablemente el metabolismo, por ello en las regiones templadas y frías, las plantas entran en un estado de reposo vegetativo invernal. Por otra parte la respiración aumenta con la temperatura, por lo que se puede alcanzar un umbral por encima del cual sea superior la pérdida por respiración a la ganancia por fotosíntesis, con lo que se detiene el crecimiento; generalmente éste se ralentiza o se para alrededor de los 35^o C. Entre ambos umbrales se encontrará una temperatura óptima característica de cada especie vegetal, o mejor aún, una temperatura óptima diurna y otra nocturna.

Existen modelos generalmente simples que permiten cuantificar la tasa de desarrollo de una planta en función de la temperatura. Se suele usar la fórmula de De Candolle (1885), que suma día a día los grados que sobrepasa la temperatura media diaria a una temperatura umbral (cuando ello sucede), es decir, los grados-día (G.D.). La acumulación de grados-día o integral térmica para que se inicie la brotación o la floración es característica y aproximadamente constante para cada especie. Por ejemplo, para el trigo, entre la siembra y la maduración, se necesitan aproximadamente de 2100 a 2500 G.D. por encima de 4^o C y para el maíz tardío de 1000 G.D. sobre 10^o C. Posteriormente, Nutton-

son (1948) incorporó una corrección para considerar la duración de la luz diurna. Con estas sencillas fórmulas se puede predecir, dentro de ciertos límites, la ocurrencia de un determinado evento fenológico, por lo que son muy utilizadas para la toma de decisiones en arboricultura frutal y, en menor medida, en la entomología aplicada para la gestión de plagas.

Muchas de las especies que viven en zonas templadas no sólo soportan inviernos fríos sino que necesitan este estímulo para que su desarrollo sea el correcto, es decir necesitan acumular un número de horas con la temperatura por debajo de un determinado umbral u horas-frío (H.F). Las temperaturas relativamente bajas, inducen y mantienen la vernalización o periodo de reposo invernal hasta un momento determinado en el que la planta se halla en condiciones de iniciar de nuevo el periodo vegetativo. Por ejemplo, en los frutales caducifolios de climas templados, se necesita de la influencia de días cortos y temperaturas en general inferiores a 10º C, para que se pueda romper el estado de latencia en las yemas y producirse la iniciación floral.

La escasez de frío invernal ocasiona problemas como el retraso en la apertura de yemas y consecuentemente en la maduración de los frutos, la brotación irregular y dispersa, el desprendimiento de yemas

de flor, alteraciones en el desarrollo del polen, mayor sensibilidad a una helada tardía por la desprotección a que da lugar. etc. Aunque los umbrales para las distintas especies varían entre 4º C y 12º C, se suele tomar como referencia el umbral de 7º C. El periodo de reposo comienza normalmente poco antes de la caída de la hoja, no obstante para empezar a acumular horas-frío, se admite como momento inicial la fecha en la que empiezan a perderse las hojas, o también a veces la fecha de la primera helada del año agrícola. El final del periodo suele ser varios días antes de que se aprecie el desborre de las yemas. Para evaluar la acumulación de horas-frío se suele utilizar la fórmula de *Crossa-Raynaud*, que establece una relación entre el número de horas por debajo de 7º C y las temperaturas extremas diarias.

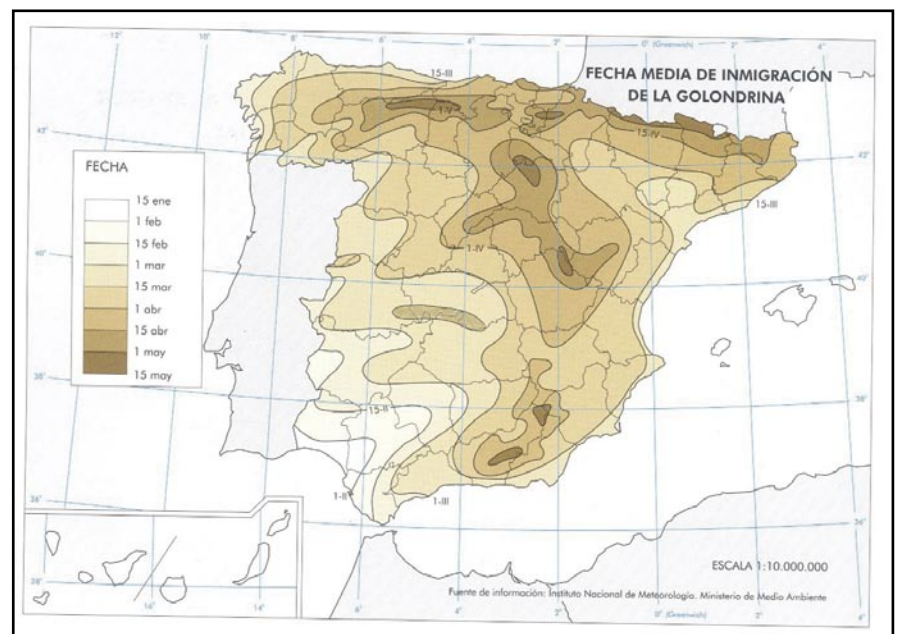
ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LA MIGRACIÓN EN AVES

Muchas aves se desplazan cada año entre los lugares de invernada y los de cría, realizando una migración prenupcial y otra post-nupcial. Las aves estivales que vienen a la península Ibérica para reproducirse llegan a finales del invierno o prin-

cipios de la primavera y, según las distintas especies, se marchan al África subsahariana, de finales de agosto a primeros de octubre; por el contrario, las invernantes vienen en otoño procedentes del centro y norte de Europa y su partida se produce, según las distintas especies y años, desde finales de febrero hasta mayo, siendo masiva durante marzo. Siempre sucede que la partida primaveral es temprana en los visitantes de invierno y la llegada primaveral es tardía en los estivales, y que luego en el paso otoñal los papeles se invierten. Por ello pueden producirse llegadas en el paso primaveral hasta mayo, o incluso junio y en el otoñal hasta noviembre.

Las fechas de llegada dependen del clima en los lugares de origen; así por ejemplo, unas llegadas tardías de aves estivales pueden estar relacionadas con periodos de sequía en África, que hacen que las aves tarden más en almacenar las reservas energéticas que necesitan para realizar el viaje debido a la escasez de alimento. A veces, hay que distinguir las primeras observaciones de individuos en avanzada de la llegada del grueso del contingente que puede demorarse más de dos semanas. No obstante,

En la red fenológica del INM se observan en la actualidad 87 especies diferentes, aunque se dispone de datos históricos de hasta 119 especies. Se consideran 15 especies de frutales, 14 de otros tipos de plantas cultivadas, 34 de árboles y arbustos (se incluyen algunos ornamentales), 10 especies de aves estivales, 8 de invernantes y 2 especies de insectos



Mapa medio de la llegada de la golondrina común para el periodo 1971-2000. Elaborado por el Servicio de Aplicaciones Meteorológicas del INM para el Atlas Nacional de España (Ministerio de Fomento).

Para ser colaborador de la red de observación fenológica basta con ponerse en contacto con los Centros Meteorológicos Territoriales del INM repartidos por las distintas Comunidades Autónomas



Portada del Atlas de Plantas para las observaciones fenológicas del SIMN (1943), con la ilustración del almendro como ejemplo de sus láminas.

se observa que algunas especies estivales se están haciendo parcialmente sedentarias en la península Ibérica al amparo de regadíos, embalses, vertederos y en menor medida de una cierta suavización de las temperaturas mínimas en invierno. Por ello se pueden observar en invierno cigüeñas blancas en numerosas localidades españolas, codornices en los regadíos del Guadiana, y algunas golondrinas comunes en lugares favorables del sur o sureste peninsulares. Respecto a la partida de las invernantes, si el invierno en la península Ibérica ha sido suave se marchan un poco antes y, en general, cuanto más al norte tienen los cuarteles de cría, más tardan en marcharse, en espera de que su territorio estival esté en condiciones.

El observador poco experimentado debe de tener cuidado para no confundir los movimientos migratorios con otros movimientos aviares tales como: la dispersión que suele suceder después de la cría; la trashumancia y las fugas de tempero, que se dan de forma regular la primera e irregular la segunda para buscar microclimas favorables o alimento; y la irrupción de ciertas especies que se produce cada varios años como consecuencia de la baja cosecha de piñas, bayas y hayucos, por un fenómeno de vecería en los bosques centroeuropeos, o como consecuencia de un temporal o una ola de frío intenso. También hay que tener cuidado en la observación pues en ciertas épocas del año, en una misma comarca hay a la vez aves de paso y sedentarias de la misma especie, y se pueden confundir los desplazamientos de las aves sedentarias a los comederos, abrevaderos o dormideros, con los auténticos movimientos migratorios.

REDES DE OBSERVACIÓN FENOLOGICA: HISTORIA

En Japón y en China se observaban las floraciones del cerezo y el melocotonero asociadas con viejos festivales y algunos registros se han encontrado del siglo XVIII. En Europa los datos fenológicos más antiguos que se han encontrado, aparecen en el diario meteorológico de Egiokke (Reino Unido); aunque las primeras observaciones realizadas con un cierto método son las que empezó de forma individual el inglés Robert Marshan en 1736. Las primeras redes fenológicas organizadas son las de Rusia (1838) y Bélgica (1842). En esta época el fenólogo belga Qetelet redacta unas primeras instrucciones para la observación y en 1781 la Socie-

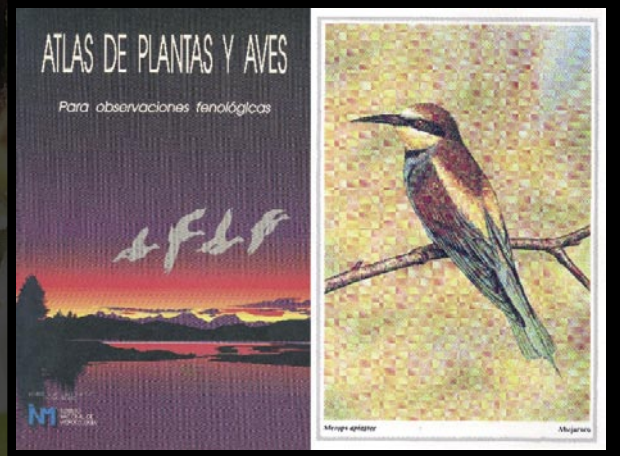
dad Meteorológica de Mannheim (Alemania) publica sus normas de observación fenológica. En 1853, el director del Observatorio Meteorológico de Viena, Carlos Fritz, diseñó unas instrucciones, fundadas en las de Quetelet, con el objeto de unificar las observaciones de todos los investigadores, y las propuso en el Congreso Internacional de Estadística que se reunió en Viena, en 1857, con el objeto de crear una red mundial de observatorios fenológicos. No obstante, el establecimiento de nuevas estaciones y la normalización a nivel europeo proceden de la Primera Conferencia Internacional de Fenología, celebrada en Danzing en 1935, y organizada por la Comisión de Meteorología Agrícola de la O.M.M. En el Reino Unido, la *Royal Meteorological Society* estableció en 1875 una red de observación para la totalidad de las Islas Británicas, y hasta 1948 publicó resúmenes anuales en el "The Phenological Report". Por esa misma época, la *Nederlandsche Phaenologische Vereeniging* (Sociedad Fenológica Holandesa) publicaba la revista "Acta Phenologica".

Los estudios fenológicos suelen ser dispersos y con distintos enfoques; los realizan las sociedades de ornitología, las escuelas técnicas de agronomía y los institutos de investigaciones ecológicas o agrarias. Tradicionalmente la fenología ha sido una actividad que se ha realizado en los departamentos o secciones de agrometeorología de bastantes Servicios Meteorológicos. Entre todos ellos se puede destacar el caso del Servicio Meteorológico alemán (DWD), por la extensa y completa red que gestiona; de los organismos que estudian fenología pero no son servicios meteorológicos se debe citar al *Centre for Ecology & Hydrology of Cambridge* que en 1998 pone en funcionamiento un programa piloto para revitalizar la *UK Phenology Network*, en el año 2000 se juntan para esta



El matemático, astrónomo y sociólogo Adolphe Quetelet, realizó observaciones meteorológicas y elaboró unas instrucciones para los 80 observatorio de la red que se montó en Bélgica en 1842.

Portada del Atlas de Plantas y Aves para observaciones fenológicas del INM (1991), con la ilustración del abejaruco como ejemplo de sus láminas.



tarea los guardas forestales y en 2005 comenzó a colaborar la BBC.

En los últimos años se han llevado a cabo diversas iniciativas a nivel europeo para intentar coordinar las distintas redes fenológicas existentes con la creación de la Red Europea de Fenología (EPN), entre cuyos objetivos hay que señalar la estandarización de las observaciones y del esquema de codificación de las mismas. A nivel mundial hay que destacar el papel que desempeña el Grupo de Estudios Fenológicos. Este grupo de trabajo fue creado en el XIII Congreso de la Sociedad Internacional de Biometeorología (Calgary, Canadá, 1993). Entre sus objetivos destaca la pretensión de crear una red mundial de observaciones fenológicas en parques nacionales, reservas de la biosfera y otras zonas protegidas, y de integrar la investigación fenológica en el contexto de los estudios encaminados a la detección y seguimiento del cambio climático mundial.

LAS OBSERVACIONES FENOLOGICAS EN EL INM

Los primeros intentos de realizar observaciones fenológicas en España, datan de 1883 y se deben al director del observatorio astronómico de Madrid, D. Miguel Merino. En 1932, el meteorólogo y catedrático de la Universidad de Barcelona D. Eduardo Fontseré repartió por Cataluña unas instrucciones de observación fenológica; posteriormente, el meteorólogo D. José María Lorente publicó un artículo en 1934 en el que hacía un llamamiento a los aficionados a la observación de la naturaleza para llegar a confeccionar un mapa fenológico de España. Pero hubo que esperar hasta 1942 para que la Sección de Climatología del Servicio Meteorológico Nacional iniciase la observación fenológica mediante una red de colaboradores y un método normalizado, actividad que ha perdurado hasta la actualidad y que hoy se lleva a cabo por el Servicio de Aplicaciones Meteorológicas. En 1942 el SMN. publicó un

manual titulado "Las observaciones fenológicas, indicaciones para su implantación en España", escrito por el meteorólogo D. José Batista Díaz y en 1943 este mismo autor publica el "Atlas de plantas para observaciones fenológicas". A la solicitud de colaboradores para montar la red, realizada a finales de 1942, respondieron unas 230 personas relacionadas con el campo, número que fue aumentando hasta llegar a más de 400 en 1960, para posteriormente ir descendiendo hasta los aproximadamente 120 que envían datos en la actualidad. Desde 1958 el INM publica de forma regular unos mapas de isonefas en el Calendario Meteorológico (antiguo Calendario Meteoro-Fenológico) como complemento a la descripción climática del año agrícola. Para facilitar la observación por parte de los colaboradores, el Instituto publicó los siguientes documentos: las *Normas e instrucciones para las observaciones fenológicas (INM. 1989)*, el *Atlas de plantas y aves para las observaciones fenológicas (INM. 1991)* y el *Atlas de aves y plantas de las Islas Canarias (INM. 1996)*.

En la red fenológica del INM se observan en la actualidad 87 especies diferentes, aunque se dispone de datos históricos de hasta 119 especies. Se consideran 15 especies de frutales, 14 de otros tipos de plantas cultivadas, 34 de árboles y arbustos (se incluyen algunos ornamentales), 10 especies de aves estivales, 8 de invernantes y 2 especies de insectos. Algunas de las fenofases descritas son: llegada o primer canto y emigración de aves; primera vez que se observan los insectos; y, en plantas, brotación, floración, foliación, cambio de color, caída de hojas, etc.; además, en el caso concreto de los cereales, primer nudo de ahijamiento, primer nudo de tallo, zurrón, espigado, maduración, etc. Si entendemos por dato, una fecha de observación de una fase en una especie y lugar, la Base Fenológica

del INM dispone de unos 400.000 de datos, de los que unos 117.000 están archivados en soporte informático y el resto en papel.

Para ser colaborador de esta red de observación basta con ponerse en contacto con los Centros Meteorológicos Territoriales del INM repartidos por las distintas Comunidades Autónomas. La procedencia de los colaboradores voluntarios es muy diversa, pero siempre se trata de personas con alguna vinculación con el campo: agricultores, profesores, farmacéuticos, médicos, sacerdotes, guardas forestales, naturalistas, observadores meteorológicos etc. Respecto a los usuarios, los datos han sido solicitados en diversas ocasiones por profesores universitarios, estudiantes, investigadores y empresas agrícolas.

Los principales problemas que aparecen en la observación fenológica son relativos a los sesgos que se aprecian en las series de datos, en cuanto a especies, fechas y geografía; la inexistencia de procedimientos de relleno de lagunas; la falta de mecanismos para la formación de los colaboradores; y la falta de unificación entre las distintas redes de observación tanto nacionales como internacionales. En cualquier caso, los datos fenológicos son de gran importancia para entender los procesos de interacción entre la atmósfera y la biosfera, sobre todo de cara a las aplicaciones agrarias y como complemento en los estudios de cambio climático. También hay que resaltar la importancia biogeográfica de España, con zonas que pertenecen a las regiones Atlántica, Mediterránea y Macaronésica; donde algunas especies tienen su límite de distribución meridional, occidental o septentrional. 