



Las observaciones fenológicas como evidencia del cambio climático

Autor: Miguel Ángel Rianza Luján

Institución: Asociación Técnica de Ecología del Paisaje y Seguimiento Ambiental (ECOPÁS)

Otros autores: Jordi Castellana Ribas (ECOPÁS)

Resumen

La fenología estudia los eventos naturales recurrentes en relación al clima, es decir fenómenos como la floración o fructificación de las plantas, la aparición de los primeros insectos, la llegada o partida de las aves migratorias. Son sucesos que ocurren año tras año y el estudio sistemático de su tendencia nos puede aportar información relevante para la gestión de las zonas cultivadas, detalles de la biología de determinada especie o sobre procesos globales tales como el cambio climático.

Las observaciones fenológicas en plantas son las que han tenido un mayor desarrollo. En Japón y en China ya se observaban sistemáticamente desde hace cientos de años las floraciones del cerezo y el melocotonero asociadas con viejos festivales tradicionales. En Europa a partir del siglo XVIII comienzan las primeras observaciones y redes fenológicas, algunas de las cuales han continuado hasta la actualidad. En España las principales observaciones fenológicas han sido desarrolladas desde AEMET.

En aves migratorias, los desplazamientos entre áreas de invernada y cría están influenciados por factores climatológicos, por lo que las fechas de llegada y partida de estas aves son otra de las fases fenológicas habitualmente registradas. A priori las fechas de llegada dependen del clima de los lugares de origen y las de partida del clima local, pero se ha comprobado que hay más factores que modulan estos movimientos, como el tamaño y salud de las poblaciones.

Los ecosistemas se caracterizan por la existencia de interacciones tanto entre factores bióticos y abióticos, como entre las propias especies vegetales y animales que los componen. Si una determinada especie requiere de la intervención de otra especie para completar su ciclo vital (ej. un polinizador para una planta) es tan importante conocer la sensibilidad al clima de la primera como de la segunda. Parece evidente que el cambio climático afectará a la intensidad y al signo de la interacción entre especies y a este respecto los estudios fenológicos revelan ya desfases temporales entre niveles tróficos con consecuencias profundas pero impredecibles en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas.

Se trata por tanto, de un campo con enormes posibilidades y con interesantes aplicaciones vinculadas a la participación ciudadana y sensibilización social.

Palabras claves: fenología; cambio climático; participación ciudadana, sensibilización ambiental.

1. INTRODUCCIÓN

La fenología estudia los eventos naturales recurrentes en relación al clima, es decir fenómenos como la floración o fructificación de las plantas, la aparición de los primeros insectos, la llegada o partida de las aves migratorias. Son sucesos que ocurren año tras año y el estudio sistemático de su tendencia nos puede aportar información relevante para la gestión de las zonas cultivadas, detalles de la biología de determinada especie o sobre procesos globales tales como el cambio climático.

El refranero ha ido atesorando muestras de sabiduría popular vinculadas a eventos fenológicos: “Por enero florece el romero”, “Por San Blas la cigüeña verás”, “La abeja y la oveja, en abril dejan la pelleja”, “Aparte de otras cosas, en abril lilas y en mayo rosas” etc. Todos ellos nos retrotraen a otros tiempos de contacto más directo con la vida en el campo y los ciclos naturales, pero son muestra inequívoca de la sincronía de los seres vivos con el medio y las condiciones en las que viven.

Este componente popular de la fenología ha hecho que en muchos casos fuera considerada más como un pasatiempo de naturalistas, gentes del campo y clérigos, que como una auténtica disciplina científica. En los últimos tiempos la comunidad científica está cambiando esta percepción, con centros de investigación especializados en esta materia y con la generación de gran número de publicaciones científicas en revistas especializadas.

De esta forma, el interés y la validez de la fenología en los seguimientos de fenómenos globales como el cambio climático es cada vez más evidente. En los siguientes apartados se analizará la base científica de esta disciplina, su devenir histórico internacional y en España, sus fundamentos técnicos, así como su utilidad como testigo de cambio climático.

2. BASES DE LA FENOLOGÍA COMO CIENCIA

La fenología se puede definir como la ciencia que estudia los fenómenos biológicos que se presentan periódicamente, acomodados a ritmos estacionales, y que tienen relación con el clima y con el curso anual del tiempo atmosférico en un determinado lugar. El vocablo fenología procede del griego “Phainestai” que significa mostrar, aparecer y, con pequeñas variaciones, se puede reconocer en muchas lenguas actuales (phenology, fenologie, phänologie,...).

Se trata de una disciplina fenomenológica, es decir, fundamentalmente descriptiva y de observación, que requiere método y precisión en el trabajo de campo. Es claramente interdisciplinar, ya que utiliza conocimientos tanto de fisiología y ecología, como de meteorología y climatología.

El interés para la agricultura de las caracterizaciones fenológicas reside en conocer con exactitud en qué estado se encuentran los cultivos y así poder planificar las labores y gestionar los riesgos en función del curso del tiempo meteorológico y de su previsión (DE CARA, 2009). En climatología se ha empleado tradicionalmente para complementar las descripciones del carácter climático de un año agrícola y para realizar estudios de climas locales (DE CARA & MESTRE, 2006). En los últimos tiempos también se está

vislumbrando como una herramienta útil como evidencia de los cambios climático y global, por la manifestación fenológica que puedan tener los aumentos previstos en las temperaturas.



Figura 1. Ciencias y técnicas asociadas con la fenología. Fuente: (DE CARA, 2006).

A los fenómenos biológicos observables que constituyen cambios o transformaciones en un escaso periodo de tiempo se les denomina fases fenológicas y, al intervalo de tiempo entre dos fases sucesivas, etapa. En agronomía se describen con precisión unos estados tipo caracterizados por un aspecto fisionómico concreto (por ejemplo en el caso del cerezo: yema de invierno, yema hinchada, botones visibles, botones separados, estambres descubiertos, flor abierta, caída de pétalos, cuajado, caída de cáliz, fruto joven).

Las observaciones fenológicas se pueden plasmar de forma gráfica, por ejemplo con la cronología de la aparición de una determinada fase en un espacio geográfico concreto, a través de líneas de igual fecha o "isofenas". Desde 1958 el INM incluye mapas de isofenas en el Calendario Meteorológico de carácter anual como complemento a la descripción climática del año agrícola.

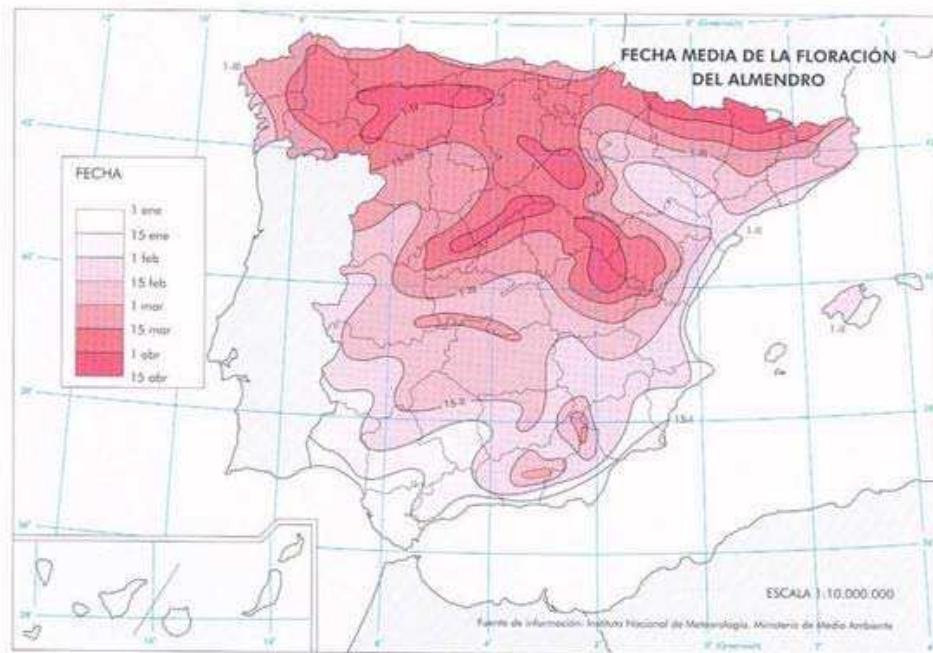


Figura 2. Isofenas marcando la fecha media de floración del almendro. Fuente: (DE CARA & MESTRE, 2006). Elaborado para el Atlas Nacional de España, IGN, 2004.

Las fases fenológicas son respuestas ecofisiológicas basadas en procesos bioquímicos que responden a cambios en el ambiente físico relacionados con los ritmos estacionales. La mayor parte de los fenómenos observados en fenología siguen ciclos anuales de ocurrencia en la misma época con pequeñas variaciones en las fechas concretas debido a la influencia de los factores de tipo meteorológico.

El fotoperiodo o duración relativa del día y la noche es el factor fundamental que modula la respuesta fenológica de los organismos. En plantas las sustancias químicas implicadas en el desarrollo y crecimiento son hormonas como la auxina, las giberelinas, las citoquininas, el etileno y el ácido abscísico. En insectos la diapausia se produce cuando se suprime la secreción de una hormona a causa de las noches largas. En vertebrados, la luz hace que los fotorreceptores del ojo y del cerebro (órgano pineal) envíen impulsos nerviosos al hipotálamo, lo cual desencadena la producción de hormonas que regulan las principales funciones corporales.

En el caso de las plantas, la vinculación de los vegetales con la temperatura es conocida desde antiguo. Así, en el siglo XVIII los fisiólogos vegetales comprueban la aceleración del crecimiento a altas temperaturas y la ralentización a bajas, estableciendo unas franjas de crecimiento óptimo tanto diurna como nocturna. La relación de la temperatura en el crecimiento vegetal se modeliza con fórmulas como la De Candolle (1885) que suma día a día los grados que se sobrepasa una temperatura umbral, es decir los grados-día (GD). La acumulación de grados-día para que se inicie la floración o brotación es característica y constante para cada especie. Muchas especies en zonas templadas necesitan además acumular un número de horas por debajo de un determinado umbral, u horas-frío (HF), cuestión que se pondera con la fórmula de Crossa-Raynaud que establece una relación entre el nº de horas por debajo de 7°C y las temperaturas extremas diarias. De esta

forma, en climas templados la floración de frutales está inducida por el estrés que producen las temperaturas bajas y la sequía.

En aves migratorias, los desplazamientos entre áreas de invernada y cría están influenciados por factores climatológicos, por lo que las fechas de llegada y partida de estas aves son otra de las fases fenológicas habitualmente registradas. A priori las fechas de llegada dependen del clima de los lugares de origen y las de partida del clima local, pero se ha comprobado que hay más factores que modulan estos movimientos, como el tamaño y salud de las poblaciones.

Los ecosistemas se caracterizan por la existencia de interacciones tanto entre factores bióticos y abióticos, como entre las propias especies vegetales y animales que los componen. Si una determinada especie requiere de la intervención de otra especie para completar su ciclo vital (ej. un polinizador para una planta) es tan importante conocer la sensibilidad al clima de la primera como de la segunda. Parece evidente que el cambio climático afectará a la intensidad y al signo de la interacción entre especies y a este respecto los estudios fenológicos revelan ya desfases temporales entre niveles tróficos con consecuencias profundas pero impredecibles en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas (MORENO, 2005). Este fenómeno se ejemplifica en la siguiente figura, en la que el desfase entre los adelantos fenológicos de especies de plantas y animales puede llevar a alteraciones en los niveles tróficos y en la capacidad de competencia de las especies y subsidiariamente puede tener efectos impredecibles sobre la comunidad y el ecosistema.

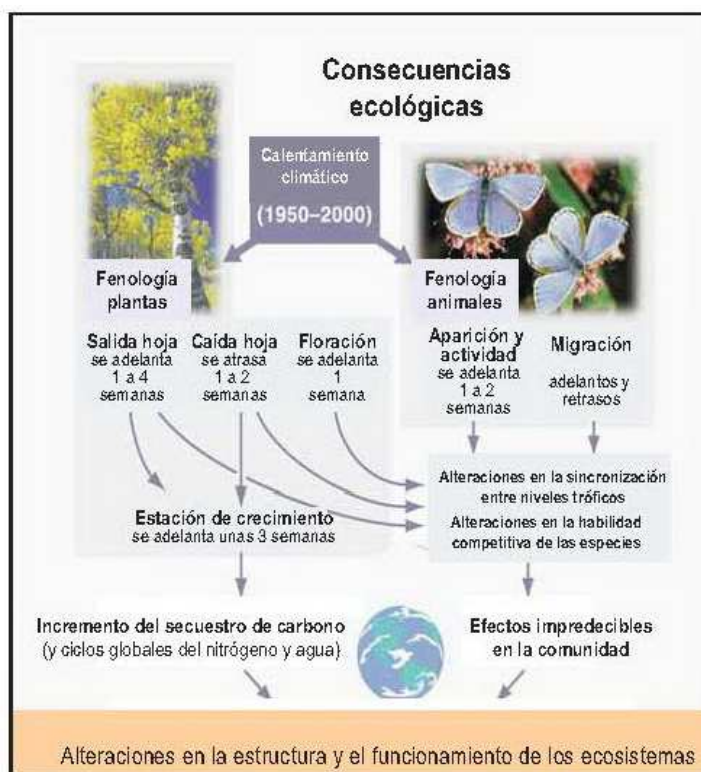


Figura 3. Efectos ecológicos de los cambios fenológicos producidos por el cambio climático. Fuente: (PEÑUELAS & FILELLA, 2011 en MORENO, 2005)

3. BREVE RESEÑA HISTÓRICA DE LAS OBSERVACIONES FENOLÓGICAS

En Japón y en China ya se observaban sistemáticamente desde hace cientos de años las floraciones del cerezo y el melocotonero asociadas con viejos festivales tradicionales. Concretamente, en Japón la floración del cerezo se lleva registrando desde el siglo VIII (MENZEL & DOSE, 2005).

En Europa las primeras observaciones son las realizadas por Robert Marshan (Inglaterra, 1736), Linneo (Suecia, 1748), Côté (Francia, 1774) y Haenke (Chequia, 1786). Los primeros calendarios florales conocidos son los publicados por el austriaco Scolopi (1762) y por el inglés Stillingfleet (1775). Las primeras redes fenológicas organizadas se crean en Rusia (1838) y en Bélgica (1842), esta última fundada por Quetelet con 80 estaciones de observación. El belga Adolphe Quetelet está considerado el padre de la fenología, redactando unas primeras instrucciones para la observación, que fueron posteriormente publicadas en 1781 por la Sociedad Meteorológica Palatina (Mannheim, Alemania).

Para intentar unificar las observaciones que se estaban realizando en Europa por diferentes equipos, en 1853 el director del Observatorio Meteorológico de Viena, Karl von Frisch publica "Instructions for observation of the vegetation", inspiradas en las instrucciones de Quetelet y que fueron propuestas en el Congreso Internacional de Estadística de Viena en 1875, con intención de crear una red mundial de observatorios fenológicos.

La Royal Meteorological Society establece en 1875 una red de observación para la totalidad de las Islas Británicas y en 1948 comienza a publicar resúmenes anuales de las observaciones en "The Phenological Report", a la que luego se unirá "Acta Phenologica" publicada por la Nederlandsche Phaenologische Vereniging.

La primera Conferencia Internacional de Fenología se celebra en Dantzig en 1935, auspiciada por la Comisión de Meteorología Agrícola de la Organización Meteorológica Mundial (OMI). En los últimos años también se han realizado esfuerzos internacionales de convergencia, como la "Red Europea de Fenología" (European Phenology Network, EPN) o el Grupo de Estudios Fenológicos creado en el XIII Congreso de la Sociedad Internacional de Biometereología (Calgary, Canadá, 1993).

En la actualidad entre los proyectos relacionados con la fenología, destacan el Servicio Meteorológico Alemán (DWD) por la extensa y completa red que gestiona y el Centre for Ecology & Hydrology of Cambridge, que en 1998 pone en marcha un proyecto piloto para reactivar la UK Phenological Network, sumando en el año 2000 la colaboración de los guardas forestales y en 2005 a la BBC.

4. LA RED DE OBSERVACIONES FENOLÓGICAS ESPAÑOLA

El primer intento por establecer en España estudios fenológicos lo realizó en 1883 el director del Observatorio Astronómico de Madrid, Miguel Merino, publicando unas instrucciones para la observación de 112 especies de plantas. No obstante las primeras observaciones fenológicas no comienzan hasta 1893 en Barcelona y en 1895 en la que se genera la primera red de los observadores de las estaciones meteorológicas de Cataluña y Baleares que llegó a tener 52 colaboradores. Más adelante, en 1921 la creación del Servei Meteorològic de Catalunya incorpora registros fenológicos en su

extensa red de estaciones, pero desgraciadamente estos esfuerzos se truncan con la Guerra Civil.

Las observaciones fenológicas sistemáticas comienzan en España con la puesta en marcha en 1942 por parte de la Sección de Climatología del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la primera red fenológica basada en una red de colaboradores y un método normalizado. Desde estos inicios los seguimientos, con diversos altibajos, se han desarrollado con cierta continuidad hasta nuestros días. En 1942 el SMN publicó un primer manual titulado “Las observaciones fenológicas, indicaciones para su implantación en España”, escrito por el meteorólogo D. José Batista Díaz. En 1989 el INM publica un nuevo manual titulado “Normas e instrucciones para las observaciones fenológicas” que continua vigente y en base al cual se hacen las actuales observaciones. Para ayudar a los observadores en su tarea en 1943 se publica el “Atlas de plantas para las observaciones fenológicas”, donde se establecían las especies y fases a observar, y que más recientemente fue complementado en 1991 con 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). Estos atlas no son manuales en sí, sino más bien un compendio de fichas de las distintas especies a observar para facilitar su identificación por parte de los observadores.

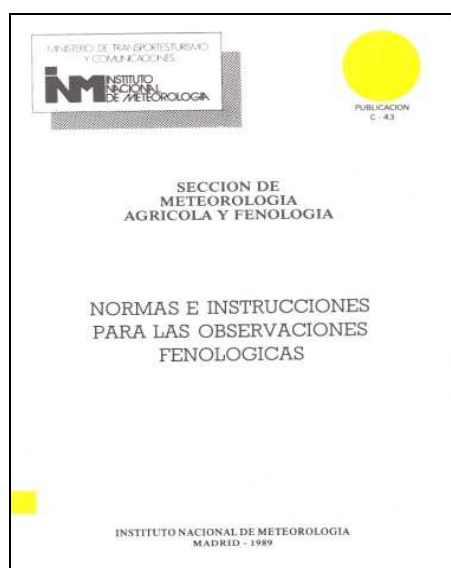


Figura 4. Portada del actual Manual de observaciones fenológicas de la AEMET (INM, 1989).

Tradicionalmente la red de observadores fenológicos del INM ha tenido un carácter voluntario y ha estado vinculada fundamentalmente a personas relacionadas con el campo y el mundo rural. A la primera solicitud de colaboradores en 1942 respondieron unas 230 personas, número que fue progresivamente en aumento hasta llegar a más de 400 en 1960. Desde entonces la red ha ido perdiendo entidad hasta llegar al escaso centenar que todavía hoy siguen enviando sus observaciones. A pesar de su carácter voluntario y no profesional, la red ha contado con observadores de gran calidad y seriedad, como el de la localidad catalana de Cardedeu, que tiene una serie continuada de observaciones de más de cincuenta años y que cuyos datos han sido empleados en varias investigaciones científicas por su robustez y solvencia.

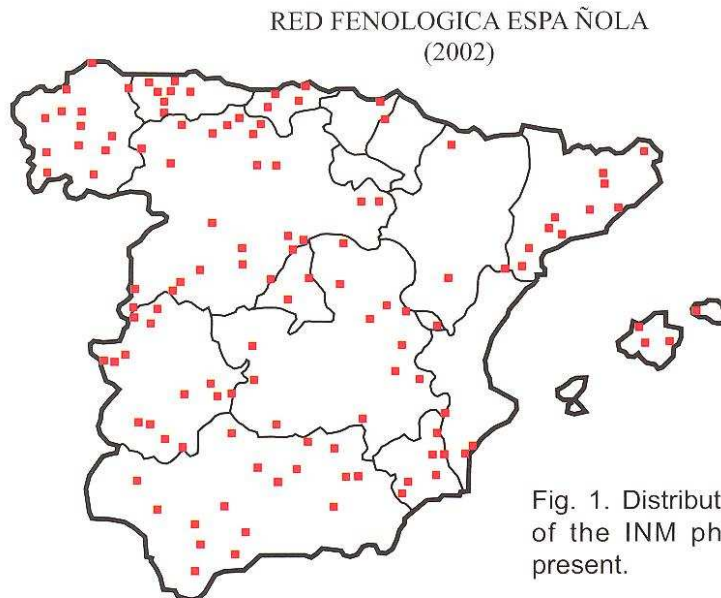


Fig. 1. Distribution of the observatories of the INM phenological network at present.

Figura 5. Estado de la Red Fenológica del INM (AEMET) en 2002. Fuente: (DE CARA, 2008).

Toda la recogida de información por parte de los observadores ha sido manual, con unas fichas de recogida normalizadas que los voluntarios van mandando a sus Centros Meteorológicos Territoriales y de ahí se reportan a las oficinas centrales de la AEMET en Madrid. Las series de datos entre los años 1960 y 1995 se digitalizaron en su momento aunque en un formato de base de datos antiguo y con bastantes limitaciones. Desde 1995 hasta la actualidad los registros se almacenan en papel, sin estar de momento informatizados. La AEMET se encuentra en un proceso de revisión y conversión de las bases de datos antiguas a los formatos Oracle con los que se trabaja en el resto de bases de datos climatológicas de la Agencia, proceso que incluirá la digitalización y homogeneización de los registros pendientes. Este proceso se espera que esté finalizado en un periodo de unos dos años. A partir de ese momento es previsible que la AEMET cuente con una herramienta sólida e integrada para la recogida y manejo de los datos fenológicos.

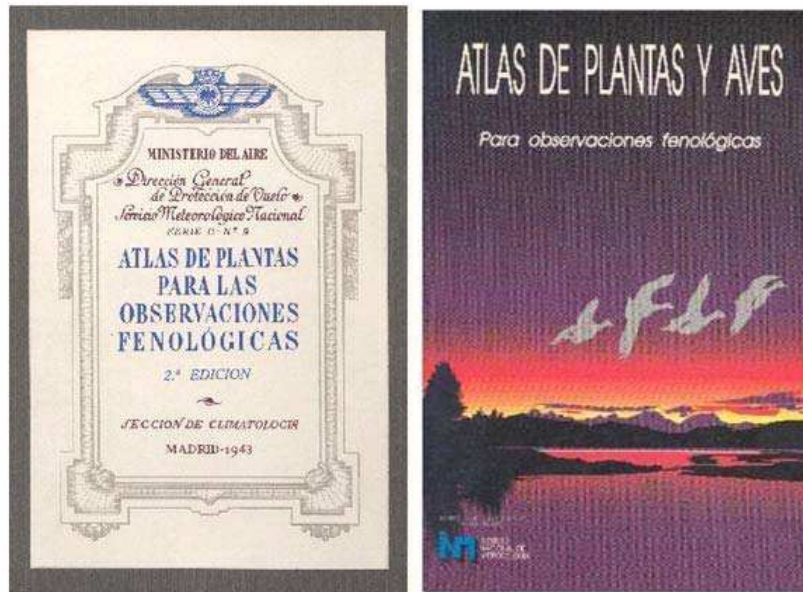


Figura 6. Portadas del primer Atlas de plantas para observaciones fenológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), de 1943 (izda.) y de la edición moderna de 1991 a cargo del Instituto Nacional de Meteorología (INM) que recogía tanto plantas como aves.

En cuanto al futuro de la Red de observadores, desde la AEMET se apuesta más por la calidad que por la cantidad, de manera que los datos que se recojan en un futuro tengan la suficiente solvencia técnica como para que sean sólidos y contrastables. De esta forma, se plantea una doble vertiente en la composición de la red de observadores, por un lado conseguir fidelizar a un grupo suficiente de observadores voluntarios que realizan su tarea con calidad, y por otro añadir a la red de observadores fenológicos a algunos de los observadores meteorológicos en plantilla de la AEMET que incluyan estas observaciones como una de las rutinas más de su trabajo.

La AEMET se coordina con SEO-Birdlife para los seguimientos fenológicos de avifauna. Esta organización conservacionista tiene un programa específico: “Aves y Clima”, desde el que coordina las observaciones fenológicas que realizan sus voluntarios. Las observaciones realizadas se pueden consultar en una Web específica del programa y han elaborado un Manual de participación para los voluntarios en el que definen tres niveles: Nivel 1, para voluntarios con pocos conocimientos en ornitología y un listado de especies a observar más reducido; Nivel 2, para personas con conocimientos en ornitología; y Nivel 3, para anilladores y otros colaboradores especialistas.

5. REDES Y PROGRAMAS INTERNACIONALES DE SEGUIMIENTO FENOLÓGICO

A nivel internacional conviene destacar el papel que desempeña el Grupo de Estudios Fenológicos, creado en el XIII Congreso de la Sociedad Internacional de Biometeorología (Calgary, Canadá, 1993). Entre sus objetivos está el de crear una red mundial de observaciones fenológicas en parques nacionales, reservas de la biosfera y otras zonas protegidas, así como el de integrar la investigación fenológica en el contexto del cambio climático.

A nivel Europeo a partir del año 2001 se puso en marcha la Red Europea de Fenología (European Phenology Network, EPN) en un intento de coordinar las distintas redes nacionales existentes y respaldada por equipos de investigación universitaria alemanes y holandeses. Este primer intento de cohesión no ha tenido continuidad en ese formato y el relevo lo están tomando otras iniciativas como los proyectos europeos de cooperación en investigación científica y técnica COST.

En este sentido, el programa europeo COST 725 “Estableciendo una plataforma de datos fenológica europea para aplicaciones climatológicas” que ha tenido un periodo de vigencia de cinco años (2004-2009) tenía como principal objetivo el establecimiento de un base de datos de observaciones fenológicas que pudieran ser empleados para fines climatológicos, especialmente monitorización climática y detección de cambios. Otros objetivos secundarios del programa eran (COST, 2009):

- La definición de especies y fases que pueden ser observadas de forma armonizada.
- Desarrollo de recomendaciones sobre los procedimientos de seguimiento.
- Control de la calidad de las observaciones.
- Formatos más usuales de archivo y distribución de datos.
- Técnicas de presentación de los datos fenológicos.
- Incremento del conocimiento de las relaciones entre clima y fases fenológicas.

El programa se ha centrado en la fenología de las plantas, que es la que más tradición y desarrollo ha tenido hasta el momento, sirviendo para la consolidación del código BBCH para la consignación de los registros fenológicos de plantas. Los países más activos en este programa han sido centroeuropeos (Alemania, Bélgica y Holanda) y algunos de Europa del Este, como se puede comprobar en el mapa de distribución de estaciones fenológicas en Europa. España no llegó a participar muy activamente en el programa, aunque ha colaborado con sus datos a la base común.

Este programa europeo ha permitido dar un importante impulso a las diferentes redes nacionales de seguimiento fenológico y generar un nexo de unión y de intercambio de experiencias. La multitud de encuentros, publicaciones y comunicaciones generadas a cargo del programa son un estímulo para la continuidad de estas observaciones. De hecho, actualmente se está poniendo en marcha otro programa europeo COST también relacionado con cuestiones fenológicas.

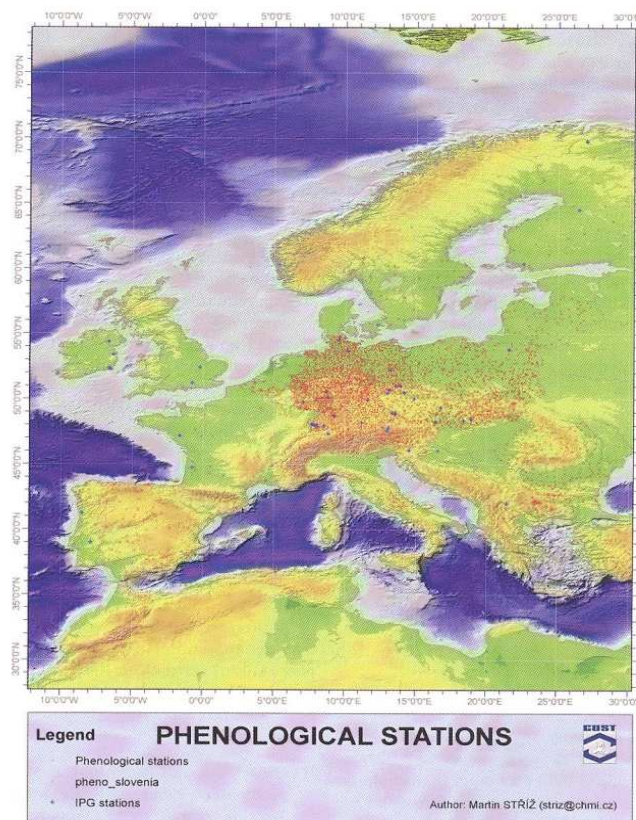


Figura 7. Red de estaciones fenológicas europea. Fuente: (COST, 2009).

Actualmente las redes fenológicas de mayor proyección son europeas, entre las que destacan la alemana, coordinada desde el Servicio Meteorológico Alemán (Deutscher Wetter-dienst DWD) que coordina una extensa red de observatorios. Alemania también cuenta con uno de los centros de investigación más activos en el campo de la fenología en el Departamento de Ecoclimatología de la Universidad de Munich liderado por la doctora Anette Menzel.

Un caso especialmente interesante es el inglés, donde en 1998 el Center for Ecology & Hidrology de la Universidad de Cambridge puso en marcha un programa piloto para revitalizar la UK Phenology Network, con el que en el año 2000 comenzaron a colaborar los guardas forestales, y en 2005 la BBC. En esta ocasión una cuidada campaña de difusión (apoyada por la BBC) y la utilización de internet han supuesto la consolidación de una red con más de 13.000 voluntarios, que ha cristalizado en otra interesante Web denominada “Calendario de la Naturaleza” (www.naturescalendar.org.uk) que supone un buen ejemplo del tremendo potencial de estas herramientas.

La red Holandesa, que también cuenta con un dinámico equipo de investigación en la Universidad de Wageningen (Environmental Systems Analysis Group) liderado por A.J.H. Van Vliet, y que en 2001, junto con la Foundation for Sustainable Development retomó la coordinación de la Red Fenológica que había quedado inactiva desde 1968 (VAN VLIET, 2008). Este equipo también estuvo implicado en la gestación de la Red Fenológica Europea (EPN) hoy con escasa actividad. La actual red fenológica cuenta con una página Web desde donde centralizan y divulgan los datos observados (www.natuurkalender.nl).



Figuras 8 y 9. Portadas de dos Web fenológicas “Calendario de la Naturaleza”: A la izda. la británica y la dcha. la holandesa.

Estas plataformas Web suponen uno de los productos más interesantes y potentes para estructurar y al mismo tiempo divulgar todo lo relacionado con la fenología. Además de poder constituir el portal de comunicación y entrada de datos por parte de todos los observadores que colaboran en la red, supone una herramienta muy versátil para la presentación de los resultados de las observaciones, con una vertiente de sensibilización y educación ambiental muy relevante.

Por todo ello, constituyen un elemento muy a tener en cuenta a la hora de diseñar una posible red fenológica aragonesa.

6. LAS OBSERVACIONES FENOLÓGICAS COMO EVIDENCIA DE CAMBIO CLIMÁTICO

La fenología de las plantas ha sido una de las que ha generado más publicaciones en relación con sus tendencias y su relación con el cambio climático, en buena medida porque son las observaciones que tienen más tradición y que cuentan con más series de datos históricas. En general las tendencias observadas son de sensibles adelantos en las fases primaverales (brotación, floración, etc.), así como retrasos algo menos evidentes en las fases otoñales (cambio de color y caída de la hoja, etc.).

Un estudio coordinado por Annete Menzel en el que se integraron las observaciones de buena parte de las redes fenológicas europeas (MENZEL *et al.*, 2004) pone de manifiesto el retraso de la primavera en latitudes medias y altas, así como la extensión de la fase de crecimiento. En el estudio se manejaron más de 125.000 series de observación de 542 plantas y 19 animales en 21 países europeos entre el periodo de 1971-2000. Los resultados muestran que el 78% de los registros de aparición de brotación, floración y fructificación se adelantaron (el 30% de forma significativa), y tan solo un 3% se retrasaron sensiblemente. El promedio de adelantamiento de la primavera/verano en Europa es de 2,5 días/década.

Con datos estrictamente nacionales, las investigaciones basadas en observaciones fenológicas realizadas por el equipo de Josep Peñuelas en Cataluña (PEÑUELAS *et al.*, 2002) muestran adelantos de una a cinco semanas en la foliación y de una a diez semanas en la floración para el último medio siglo. Del mismo modo se producen retrasos en la caída de la hoja de entre una y dos semanas en diferentes especies. Más concretamente el manzano, el olmo o la higuera anticipan el brote de las hojas en un mes, y el almendro y el chopo, unos quince días.

Basándose en las observaciones fenológicas del Observatori de l'Ebre (Tortosa), que también cuenta con una serie larga de registros, como el de Cardedeu, Oscar Gordo ha realizado diversas investigaciones a partir de datos facilitados por la AEMET. En relación a las plantas han trabajado con la información fenológica recogida para 45 especies y cinco fenofases, detectando también el adelanto de los eventos primaverales y veraniegos especialmente a partir de la mitad de la década de 1970 (GORDO & SANZ, 2005). Además han correlacionado esos datos fenológicos de vegetación con los de 4 especies de insectos, observando un adelanto todavía mayor de las fenofases de estos últimos, lo que provoca un desacoplamiento de las relaciones insecto-planta (GORDO & SANZ, 2006).

Herminia García-Mozo, desde la Universidad de Córdoba ha dedicado varios estudios a los aspectos fenológicos de varias especies mediterráneas. De esta forma, ha comprobado el adelanto en la floración en la estación polínica del género *Quercus* en localidades del interior peninsular, probablemente debido al aumento de las temperaturas en el periodo previo a la floración (GARCÍA-MOZO *et al.*, 2002 y 2006). También ha observado el adelanto en la foliación y maduración de los frutos en el sur de España para varias especies (Olivo, vid, varias especies de los géneros *Quercus* y *Poa*) (GARCÍA MOZO *et al.* 2010; GALAN *et al.*, 2005). Las observaciones sobre la floración del olivo se han estudiado desde una óptica más amplia comparando datos del sur de España con otros italianos (Perugia) y llegando a unas conclusiones similares (ORLANDI *et al.*, 2009). El propio personal de la AEMET ha procesado sus series de observaciones fenológicas, detectando una clara tendencia a la anticipación de la floración en el periodo 1985-2000 en especies como el majuelo (*Crataegus monogyna*) una media de entre 1 y 2 días por año, lo que corresponde con una anticipación del evento fenológico del orden de 20 días a lo largo del periodo indicado (DE CARA & MESTRE, 2006).

Las alteraciones detectadas localmente gracias a los eventos fenológicos se han corroborado después a escala planetaria mediante mediciones por satélite. Las mismas alteraciones que afectan al ciclo vital de las plantas repercuten en la productividad vegetal (lo que altera el balance de carbono en los ecosistemas terrestres), la competencia entre especies y las interacciones con otros organismos heterótrofos como los insectos herbívoros y polinizadores (VISSER & BOTH, 2005). Un reciente estudio basado en los cambios térmicos a partir de las temperaturas superficiales globales tanto en los océanos como en tierra en los últimos 50 años ha estimado el ritmo al que se está generando el cambio climático, apuntando que la señal térmica que marca el comienzo de la primavera se adelanta unos dos días cada decenio (BURROWS *et al.*, 2011).

En cuanto a invertebrados, son un referente internacional los estudios realizados en El Cortalet (Parque Natural de los Aiguamolls de l'Empordà), la estación más antigua del

Catalan Butterfly Monitoring Schem (CBMS). Entre 1988 y 2002 estudiaron la fenología de 19 especies de mariposas (ropalóceros), advirtiendo significativos adelantos en las fechas de primer vuelo en 8 de las 19 especies. Los adelantos eran de entre 1 y 7 semanas, obteniendo una medida de 0,1 semana/año de adelanto. Estos cambios coincidieron con incrementos de 1-1,5°C de temperatura media en los meses de Febrero, Marzo y Junio (STEFANESCU *et al.*, 2003). También se ha comprobado que los adultos de las especies con estado larvario invernal emergen antes en años más cálidos (GORDO & SANZ, 2006), y que la aparición de insectos que pasan por los diferentes estados larvarios más rápidamente en respuesta al calentamiento se ha adelantado de promedio 11 días (GORDO & SANZ, 2009).

Los anfibios son otro grupo en el que se han realizado observaciones fenológicas en relación con el cambio climático. Varios estudios (BEEBEE, 1995, BLAUSTEIN *et al.*; 2001, 2003; GIBBS & BREICHS, 2001), fundamentalmente realizados en Reino Unido apuntan la tendencia al adelanto del inicio de la reproducción de varias especies en Europa y Norteamérica, como el tritón palmeado (*Lissotriton helveticus*) y a su clara relación con la temperatura media en otros casos como el del sapo común (*Bufo bufo*). Las evidencias fenológicas en aves están vinculadas al periodo reproductor y a los movimientos migratorios. En cuanto al periodo reproductor son muy significativos los trabajos realizados con papamoscas cerrojillo (*Ficedula hypoleuca*), especie en la que no se han observado todavía en los seguimientos realizados en la Península durante las últimas décadas cambios en la fecha o tamaño de la puesta (SANZ, 2002, 2003; SANZ *et al.*, 2003). Sin embargo sí han sido detectados adelantos significativos para la misma especie en 23 enclaves de toda Europa, coincidentes con los enclaves que mostraban una tendencia más clara al calentamiento (BOTH *et al.*, 2004). Este fenómeno tiene su explicación en que en las poblaciones estudiadas en la Península el aumento de temperaturas se ha producido en los meses posteriores al inicio de la reproducción, por lo que, en nuestro caso, se observa un descenso en el éxito reproductor (pérdida de condición de los pollos al emanciparse y menor reclutamiento de individuos) (SANZ *et al.*, 2003).

En cuanto a los movimientos migratorios, la mayoría de los estudios apuntan a que las aves llegan antes a sus áreas de cría (SOKOLOV *et al.*, 1998; SPARKS & MASON, 2001; CRICK, 2004). El adelanto de la primavera en Europa y Norteamérica facilita el viaje hacia el norte, ya que hay más alimento disponible en épocas tempranas y la meteorología tiende a ser más benigna en general (GORDO, 2007). No obstante los fenómenos migratorios son especialmente complejos y en caso de la Península no hay convergencia en las observaciones. Mientras que en la zona de Cardedeu (Cataluña) se han detectado retrasos de hasta 15 días de promedio en la llegada de 6 aves migrantes (golondrina, vencejo, cuco, ruiseñor, abubilla y codorniz) en los últimos 50 años (PEÑUELAS *et al.*; 2002), en otra zona cercana catalana (Tortosa) se han registrado adelantos en la llegada de zorzal común, estornino pinto, golondrina, vencejo y abubilla (GORDO & SANZ, 2005).

En el caso de migraciones primaverales, se diferencia entre un mayor adelanto en la llegada de las especies que invernan en el ámbito mediterráneo (migradoras de corta distancia) que en las que invernan en el África tropical (migradoras transaharianas). No conviene olvidar que el inicio de la migración está controlado en gran medida por un reloj interno (ritmos circadianos) vinculado directamente con el fotoperiodo y no con las

temperaturas. Así un arranque migratorio desacoplado con las condiciones climáticas y de disponibilidad de alimento de las zonas receptoras puede tener consecuencias nefastas en las poblaciones (PULIDO & GORDO, 2008).

En este sentido, es especialmente interesante el proyecto abanderado por la Fundación Migres en Tarifa (Cádiz) para crear un Centro de la Migración y el Cambio Global, que cuenta entre sus objetivos:

- Desarrollar investigación de excelencia sobre el fenómeno migratorio a todos los niveles y promover el uso del centro por científicos nacionales e internacionales de referencia para la realización de sus investigaciones.
- Convertirse en referente en el efecto del cambio global sobre los movimientos y distribuciones de los seres vivos.
- Realizar investigaciones aplicadas para compatibilizar el desarrollo de infraestructuras con la conservación y mejora de la biodiversidad.
- Generar, mantener y analizar bases de datos de seguimientos de pasos migratorios de diferentes grupos animales, especialmente de aves.
- Asegurar la difusión social de la ciencia realizada.

7. ESPECIES E INDICADORES DE SEGUIMIENTO FENOLÓGICO

7.1. PLANTAS

Las plantas han sido el grupo sobre el que históricamente se han desarrollado la mayor parte de las observaciones fenológicas. Su inmovilidad y escasa capacidad de protegerse de las inclemencias atmosféricas hacen que reflejen con mucha fidelidad las variaciones que se producen en el medio físico que las rodea.

En la red fenológica de la AEMET se observan en la actualidad unas 70 especies de plantas, de las que 14 son plantas cultivadas (avena, cebada, centeno, trigo, maíz, arroz, judía, haba, guisante, garbanzo, remolacha, patata, girasol y tabaco), 20 son frutales (melocotonero, albaricoquero, cerezo, ciruelo, manzano, peral, níspero, membrillero, higuera, granado, almendro, avellano, castaño, nogal, algarrobo, vid, olivo, naranjo, limonero y mandarino) y 36 árboles y arbustos silvestres, algunos ornamentales (*Acer pseudoplatanus*, *Alnus glutinosa*, *Betula celtiberica*, *Fagus sylvatica*, *Fraxinus excelsior*, *Populus alba*, *Populus nigra*, *Quercus ilex*, *Quercus faginea*, *Quercus pyrenaica*, *Quercus robur*, *Quercus suber*, *Salix alba*, *Sambucus nigra*, *Ulmus minor*, *Pinus spp.*, *Aesculus hippocastanum*, *Platanus hispanica*, *Robinia pseudoacacia*, *Myrtus communis*, *Syringa vulgaris*, *Eucaliptus globulus*, *Arbutus unedo*, *Calluna vulgaris*, *Crataegus monogyna*, *Cytisus scoparius*, *Lavandula stoechas*, *Prunus spinosa*, *Ulex europaeus*, *Cistus ladanifer*, *Lavandula angustifolia*, *Neriun oleander*, *Pistacia lentiscus*, *Stipa tenacissima*, *Asphodelus albus* y *Retama sphaerocarpa*).

Por su parte la red fenológica de SEO-Birdlife, a pesar de centrarse fundamentalmente en las aves, también incluye 5 especies de plantas (almendro, amapola, castaño, jara pringosa y plátano de paseo).

Para poder sistematizar las observaciones fenológicas en plantas definieron diferentes fases, que con pequeñas variaciones eran las siguientes (INM, 1989):

1. Siembra o plantación
2. Brotación o nascencia
3. Salida de la hoja o foliación
4. Floración
5. Maduración
6. Recolección
7. Cambio de color de la hoja
8. Caída de la hoja o desfoliación

Alguna de esas fases como la de salida de la hoja, se podía subdividir en otras más precisas, como: nudo de ahijamiento (abultamiento en el suelo una vez nacida la cuarta hoja, que dará lugar a los tallos secundarios o hijuelos), primer nudo de tallo, o zurrón (abultamiento en la última hoja donde saldrá la futura espiga). Estas subfases permitían definir con algo más de precisión ciertos momentos del crecimiento vegetal.

FICHA FENOLOGICA GENERAL DE VEGETALES

Provincia *Ciudad Real* Estación *Solana del Pino*
 Colaborador D. *José Luis García Gómez*
 Domicilio *Cervantes, 24*
 Mes *Marzo* Año *1988*

INDIQUESE EL DIA EN QUE SE OBSERVAN LOS SIGUIENTES FENOMENOS:

PLANTAS	PATATA	ALBARICOQUERO	MEMBRILLO	BREZO	ESPARRAGO
SIEMBRA	10				
BROTACION O NASCENCIA					
FLORACION		12	24	13	
FOLIACION		20	20		
MADURACION					
RECOLECCION					16
CAMBIO DE COLOR					
CAIDA DE LA HOJA					

Figura 10. Actual ficha de recogida de datos fenológicos de vegetales de la AEMET (INM, 1989).

Estas fases fenológicas, aportando información relevante sobre los principales momentos en el desarrollo o el comportamiento de los seres vivos, eran poco precisos como para poder extraer conclusiones de la observación de series temporales largas y hacían complicada la comparación de datos con observaciones en otros lugares o países que emplearan criterios similares.

Por esta razón, en 2007 la Organización Meteorológica Mundial (WMO) publica una guía metodológica para las observaciones fenológicas (KOCK *et al.*, 2007) en la que se avala

la utilización en plantas de la escala BBCH ampliada para la definición exacta de las fases a observar.

La escala BBCH (**B**iologische **B**undesanstalt, **B**undessortenamt and **C**hemical Industry) es un sistema para una codificación uniforme de identificación fenológica de estadios de crecimiento para todas las especies de plantas mono y dicotiledóneas. El origen de esta escala está en el interés de los centros de investigación agraria alemanes y la industria agroquímica para normalizar las fases de crecimiento de las especies agrícolas, de hecho extraoficialmente se dice que las siglas corresponden realmente a las iniciales de cuatro empresas agroquímicas, **B**ayer, **B**ASF, **C**iba-Geigy y **H**oechst, patrocinadoras de la iniciativa. La escala se estructuró a partir de un código decimal (ZADOKS et al, 1974) para cereales y arroz fueron, siendo posteriormente adaptada al resto de especies agrícolas (MEIER, 2001) y más tarde a las no agrícolas.

Actualmente esta escala es la comúnmente aceptada por los diversos organismos internacionales y redes de observación fenológica. Recientemente el equipo de Annette Menzel, en la Universidad alemana de Munich (CORNELIUS *et al.*, 2011) ha comparado la efectividad del código BBCH con otros métodos de posible observación fenológica tales como: el desarrollo en peso vegetal (WPD), almacenamiento de estados pre y post de crecimiento (PSD), estados acumulativos de crecimiento (CSD) y regresiones logísticas ordinales (OLR), llegando a la conclusión de que aún siendo un sistema de muestreo mucho menos intenso, los errores son asumibles y se postula como una buena elección cuando los intervalos de muestreo no pueden ser de frecuencia semanal o inferior.

Los principios básicos de la escala (KOCK *et al.*, 2007)

- La escala general es la base para todas las especies, elaborándose las escalas individuales a partir de ella. La escala general puede ser aplicada en aquellas especies para las cuales no existe una escala individual.
- El mismo estadio fenológico de las diversas especies deberá tener el mismo código.
- Para cada código, la descripción es conocida, y para algunos importantes estadios, se incluyen dibujos.
- Para la descripción de los estadios fenológicos de desarrollo, se utilizaron características externas claramente reconocibles.
- Como regla, solamente se tomará en consideración el desarrollo del tallo principal.
- La evaluación se hace individualmente con base en algunas plantas representativas del conjunto de la especie.
- Para indicar los tamaños específicos de las especies y/o variedades durante su desarrollo, se usan los tamaños relativos en relación con los tamaños finales a esperar.
- Los estadios secundarios 0 a 9 corresponden al respectivo número ordinal o valor porcentual. Por ejemplo el estadio 3 puede representar: Tercera hoja verdadera, tercer brote, tercer nudo, 30% de la longitud final típica de la especie o 30% de las flores abiertas.
- Tratamientos de post-cosecha o almacenamiento se incluyen bajo el código 99.
- Tratamientos de la semilla anteriores a la siembra se ubican bajo el código 00.

El ciclo completo de desarrollo de las plantas se subdivide en diez fases principales de desarrollo claramente distinguibles. Estos estadios principales de crecimiento, son descritos usando números del 0 al 9 en orden ascendente.

Los estadios principales de crecimiento, no son adecuados para describir una aplicación exacta, o definir fechas de evaluación, porque describen tiempos demasiado amplios en el curso del desarrollo de la planta.

Los estadios secundarios son usados para describir con precisión fases cortas del desarrollo de plantas. En contraste a los estadios principales de crecimiento, son definidos en pasos cortos de desarrollo de las respectivas especies de plantas, teniendo lugar durante un determinado estadio principal de desarrollo. Los estadios secundarios también son codificados usando números de 0 a 9. La combinación de los números de un estadio principal de crecimiento y el número de un estadio secundario de crecimiento conducen al código digital de 2 cifras.

El código de 2 dígitos es una escala que ofrece la posibilidad de precisar y definir todos los estadios fenológicos para la mayoría de las especies de plantas. Sólo en algunos casos (ej. pepino, cebolla, patata, tomate) se necesita una subdivisión más detallada junto a un estadio principal de crecimiento que vaya más allá de las posibilidades de uso de los estadios secundarios del 0 al 9.

Para estos casos se presenta una escala de 3 dígitos al lado de la escala de 2 dígitos. Esto implica la inclusión de los también llamados mesoestadios entre los estadios principales y secundarios, que da origen a una subdivisión ampliada. Los mesoestadios 0 y 1 describen el tallo principal y los mesoestadios 2 al 9 describen los brotes laterales de 2º a 9º orden. En este caso se pueden contar hasta 19 hojas del tallo principal y además existe la posibilidad de describir las ramificaciones de las plantas.

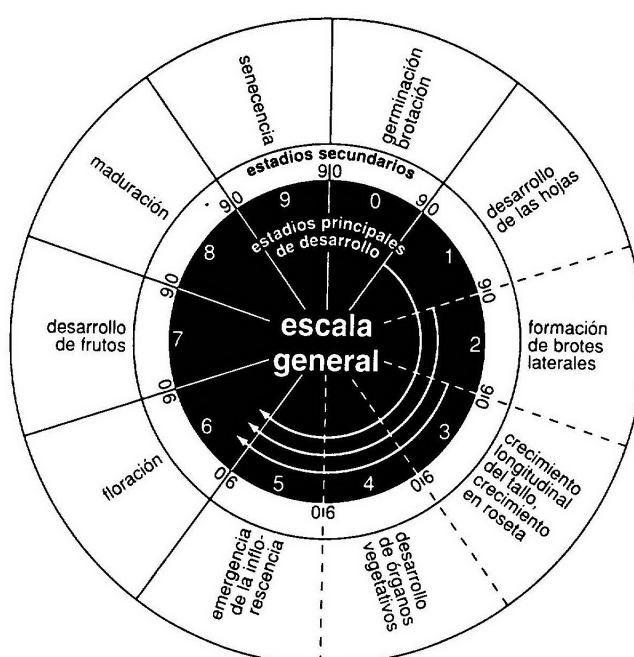


Figura 11. Estados de crecimiento principal y secundario del código BBCH.

De cara al empleo de las observaciones fenológicas como indicadores de cambio climático es recomendable centrarse en especies silvestres, pues las cultivadas presentan mayor variabilidad fenológica en función de las razas y variedades que se observen. Del mismo modo, las redes de observación suelen centrarse en algunas fases específicas de cada especie por tratarse de momentos de más fácil identificación o menor variabilidad estacional, es decir no es tan productivo registrar observaciones de todas las fases fenológicas de una especie, lo que aportaría una cantidad ingente de información difícil de procesar, sino de centrarse en unos estados fenológicos concretos para cada especie que conviene establecer de partida y dejar claro a todos los observadores.

7.2. AVES E INSECTOS

Para las aves se suelen considerar las fases de llegada y emigración y para los insectos su primera presencia o su reaparición después de un largo periodo sin presencia. La red fenológica de la AEMET incluye 13 especies de aves (vencejo, cigüeña blanca, golondrina, cuco, ruiseñor, tórtola, abubilla, codorniz, abejaruco, avión común, avefría, petirrojo y grulla), y dos especies de insectos: abeja (*Apis mellifera*) y mariposa blanca de la col (*Pieris rapae*).

FICHA FENOLOGICA DE ANIMALES

Provincia *Córdoba* Estación *Algar*
 Colaborador D. *Rafael Varo Arjona*
 Domicilio *Grupo Escolar*
 Mes *Marzo* Año *1988*

INDIQUESE EL DIA EN QUE SE OBSERVAN LOS SIGUIENTES FENOMENOS:

AVES					
AVES	GOLONDRINA	CUCO	ALCAUDON	RUISEÑOR	ZORZAL
LLEGADA	2	20	20	21	12
EMIGRACION					
INSECTOS					
INSECTOS	ABEJA	MARIPOSA DE LA COL			
SE OBSERVA POR 1.ª VEZ	8	5			

Figura 12. Actual ficha de recogida de datos fenológicos de animales (aves e insectos) de la AEMET (INM, 1989).

Por su parte, la red de seguimientos fenológicos de SEO-Birdlife distingue en su nivel 1 de observador las mismas 13 especies de aves que la AEMET, ampliando en los niveles 2 y 3 de observador a todas las aves. También incluye dos especies de insectos: abeja (*Apis mellifera*) y chupaleches (*Iphiclides podalirio*).

En el nivel 1 y 2 de observación de aves de SEO-Birdlife se centran en tres periodos: invernada, paso migratorio y reproducción. Para los tres periodos se registran las siguientes fases fenológicas:

- Primer individuo detectado
- Fecha en la que se detectan más de dos individuos
- Fecha en la que se lleva detectada durante tres días consecutivos la especie
- Último/s ejemplar/es detectado/s
- Para el periodo de reproducción se registra además:
- Primer individuo aportando material al nido
- Primera puesta
- Primer pollo detectado
- Primeros pollos volantones detectados
- Último pollo volantón detectado

En el nivel 3 se amplían las fases fenológicas del periodo reproductor con la primera y última ave capturada con placa o protuberancia cloacal.

7.3. OTRAS ESPECIES

Ni la red fenológica de la AEMET ni la de SEO-Birdlife incluyen mamíferos, anfibios o reptiles en sus observaciones. Las fases fenológicas a definir para estas especies plantean más problemática debido a su mayor movilidad y patrones de conducta más flexibles. No obstante, hay fases, por ejemplo las relacionadas con los periodos reproductores de anfibios: llegada a los lugares de reproducción, inicio de cantos, momento de la puesta, que sí se consideran válidas como observaciones fenológicas.

8. CONCLUSIONES

Las observaciones fenológicas, sobre todo las vinculadas al seguimiento de las especies vegetales, tienen una larga tradición en Europa y ha sido una fuente de información aplicada fundamentalmente a la meteorología y al sector agrario. En los últimos tiempos está demostrando su versatilidad en relación al seguimiento de fenómenos globales como el cambio climático.

El empleo de variables fenológicas para la detección de cambio climático está avalado por el Ministerio de Medio Ambiente en su "Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático" (MORENO, 2005) en la que se recomienda el seguimiento de la producción de flores y frutos de especies clave (ampliando la lista de la AEMET), de la fenología de comunidades vegetales (estimación de momentos de dormancia general, producción máxima, floración máxima, etc.) y la aparición de insectos y aves migratorias (ampliando la lista de la AEMET). Todas estas variables se evalúan como económicas en lo relativo a su coste de aplicación.

En España existe una Red Fenológica nacional coordinada desde la AEMET, que está en proceso de reestructuración, que puede ser complementada y ampliada por otros proyectos que se desarrollen desde las Comunidades Autónomas u otras organizaciones.

Se trata por tanto, de un campo con enormes posibilidades y con interesantes aplicaciones vinculadas a la participación ciudadana y sensibilización social.

BIBLIOGRAFÍA

ALVARADO, M.A.; FOROUGHBAKHCH, R.; JURADO, E. & ROCHA, A. (2002). El cambio climático y la fenología de las plantas. *Ciencia UANL*, oct-dic, año/vol. V, nº 4: 493-500. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, México.

BEEBEE, T.J.C. (1995). Amphibian breeding and climate. *Nature* 374: 219-220.

BLAUSTEIN, A.R.; BELDEN, L.K.; OLSON, D.H.; GREEN, D.M.; ROOT, T.L. & KIESECKER, J.M. (2001). Amphibian breeding and climate change. *Conservation Biology* 15: 1804-1809.

BLAUSTEIN, A.R.; ROMANSIC, J.M.; KIESECKER, J.M. & HATCH, A.C. (2003). Ultraviolet radiation, toxic chemicals and amphibian population declines. *Diversity and Distributions*, 9: 123- 140.

BOTH, C.; ARTEMYEV, A.V.; BLAAUW, B.; COWIE, R.J. & DEKHUIJZEN, A.J. (2004). Large-scale geographical variation confirms that climate change causes birds to lay earlier. *Proc. R. Soc. London Ser. B* 271: 1657-62.

BURROWS, M.T.; SCHOEMAN, D.S.; BUCKLEY, L.B.; MOORE, P; POLOCZANSKA, E.S. et al. (2011). The Pace of Shifting Climate in Marine and Terrestrial Ecosystems. *Science*, 334: 652.

DE CARA, J.A. (2006). La observación fenológica en agrometeorología. *Revista Ambienta* 53, 64-70. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.

DE CARA, J.A. & MESTRE, A. (2006). La observación fenológica en agrometeorología y climatología. XXIX Jornadas científicas de la Asociación Meteorológica Española (AME). Pamplona.

DE CARA, J.A. (2008). Phenological observations at the spanish meteorological service (INM): A brief history and present status. In *The history and current status of plant phenology in Europe. COST Action 725: Establishing a European Data Platform for Climatological Applications*, 156-160.

DE CARA, J.A. (2009). Notas para la observación fenológica de la vid: Descripción de los estadios tipo del desarrollo de *Vitis vinifera* L. En *Calendario Meteorológico 2010*, 143-147. Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. Madrid.

DE CARA, J.A. (2010). Notas para la observación fenológica de la brotación, floración y fructificación del almendro. En *Calendario Meteorológico 2011*, 141-145. Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. Madrid.

CORNELIUS, CH.; PETERMEIER, H.; ESTRELLA, N. & MENZEL, A. (2011). A comparison of methods to estimate seasonal phenological development from BBCH scale recording. *Int J Biometeorol* 55: 867-877.

COST (2008). COST Action 725. The history and current status of plant phenology in Europe. COST (European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research).
COST (2009). Final Scientific Report of COST 725. Establishing a European data platform for climatological applications. COST (European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research). Brussels.

CRICK, H.Q.P. (2004). The impact of climate change on birds. *Ibis* 146: 48–56.

GALÁN, C.; GARCÍA-MOZO, H.; VÁZQUEZ, L.; RUIZ, L.; DÍAZ DE LA GUARDIA, C. & TRIGO, M.M. (2005). Heat requirement for the onset of the *Olea europaea* L. pollen season in several sites in Andalusia and the effect of the expected future climate change. *Int J Biometeorol*, 49:184-188.

GARCÍA-MOZO, H.; GALÁN, C.; JATO, V.; BELMONTE, J.; DE LA GUARDIA, C.D.; FERNÁNDEZ, D.; GUTIÉRREZ, M.; AIRA, M.J.; ROURE, J.M.; RUIZ, L.; TRIGO, M.M. & DOMÍNGUEZ-VILCHES, E. (2006). *Quercus* pollen season dynamics in the Iberian Peninsula: Response to meteorological parameters and possible consequences of climate change. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* 13: 209-224.

GARCÍA-MOZO, H.; GALÁN, C.; & DOMÍNGUEZ-VILCHES, E. (2002). The impact of future climate change in the start of *Quercus* flowering in the Iberian Peninsula. En: B. Zapata (Ed.). *Quaternary Climatic Changes and Environmental crises in the Mediterranean Region*: 279-285. Universidad de Alcalá de Henares.

GARCÍA-MOZO, H.; MESTRE, A. & GALÁN, C. (2010) Phenological trends in southern Spain: A response to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology* 150: 575-580.

GIBBS, J.P. y BREISCH, A.R. (2001). Climate warning and calling phenology of frogs near Ithaca New York, 1900-1999. *Conservation Biology* 15: 1175-1178.

GORDO, O. & SANZ, J.J. (2005). Phenology and climate change: a long-term study in a Mediterranean locality. *Oecologia* nº 146: 484-495.

GORDO, O. & SANZ, J.J. (2006a). Temporal trends in phenology of the honey bee *Apis mellifera* (L.) and the small white *Pieris rapae* (L.) in the Iberian Peninsula (1952-2004). *Ecological Entomology*, nº 31: 261-268.

GORDO, O. & SANZ, J.J. (2006b). Climate change and bird phenology: a long term study in the Iberian Peninsula. *Global Change Ecology*, nº 12: 1993-2004.

GORDO, O. (2007). La fenología nos alerta del cambio climático. Nuevos aires para una vieja ciencia. *Revista Quercus*, nº 253: 37-41. Marzo 2007.

GORDO, O.; SANZ, J.J. & LOBO, J.M. (2009). La migración de las aves sobre la península ibérica. Patrones geográficos para la llegada primaveral de aves transaharianas. *Revista Quercus* nº 280: 14-22. Junio 2009.

GORDO, O. & SANZ, J.J. (2010). Impact of climate change of plant phenology in Mediterranean ecosystems. *Global Change Biology*, nº 16: 1082-1106.

INM (1989). Normas e instrucciones para las observaciones fenológicas. Sección de Meteorología Agrícola y Fenología. Instituto Nacional de Meteorología. Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones. Madrid.

KOCH, E.; BRUNS, E.; CHMIELEWSKI, F.M.; DEFILA, C.; LIPA, W. & MENZEL, A. (2007). Guidelines for plant phenological observations. WMO (World Meteorological Organization).

MEIER, U. (Ed.) (2001). Monográfico BBCH Monografía. Estados de las plantas mono y dicotiledóneas. Centro Federal de Investigaciones Biológicas para la Agricultura y Silvicultura. Berlin.

MENZEL, A. & DOSE, V (2005). Analysis of long-term time-series of beginning of flowering in Bayesian function estimation. *Meteorologische Zeitschrift*, 14 (3), 429-434.

MENZEL, A.; SPARKS, T.H.; ESTRELLA, N.; KOCH, E. et al. (2006). European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology*, 12: 1969-1976.

MORENO, J.M. (Dir./Coord.) (2005). Evaluación preliminar de los Impactos en España por efecto del Cambio Climático. Proyecto ECCE. Ministerio de Medio Ambiente y Universidad de Castilla-La Mancha.

OBESO, J.R.; SANCHEZ, J.R. & SEGURA, A. (Coords.) (2008). Seguimiento de los efectos del cambio global en el Parque Nacional de Picos de Europa: propuesta de sistema de indicadores. Universidad de Oviedo.

ORLANDI, F.; GARCÍA-MOZO, H.; GALÁN, C.; ROMANO, B.; DIAZ DE LA GUARDIA, C.; RUIZ, L.; TRIGO, M.M.; DOMINGUEZ-VILCHES, D. & FORNACIARI, M. (2009). Olive flowering trends in a large Mediterranean area (Italy and Spain). *Int J Biometeorol*, 54:151–163.

PEÑUELAS, J. & FILELLA, I. (2001). Phenology: responses to a warming world. *Science* 294: 793-795.

PEÑUELAS, J.; FILELLA, I. & COMAS, P. (2002). Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the Mediterranean region. *Global Change Biology*, 9: 531-544.

PETIT, R.J.; HAMP, E.A. & CHEDDADI, R. (2005). Climate changes and tree phylogeography in the Mediterranean. *Flora* 54: 877–885.

PULIDO, F. & GORDO, O. (2008). La respuesta de las aves migratorias al cambio climático. *Revista La Garcilla*, nº 137: 12-14. Invierno 2008. SEO/Birdlife.

SANZ, J.J. (2002). Climate change and breeding parameters of great and blue tits throughout the western Palearctic. *Global Change Biology* 8: 409-422.

SANZ, J.J. (2003). Large scale effect of climate change on breeding parameters of pied flycatchers in Western Europe. *Ecography* 26: 45-50.

SANZ, J.J.; POTTI, J.; MORENO, J., MERINO, S. y FRÍAS, O. (2003). Climate change and fitness components of a migratory bird breeding in the Mediterranean region. *Global Change Biology* 9: 461-472.

SEO-BIRDLIFE (2006). Manual de participación en la Red Fenológica. Sociedad Española de Ornitología. Madrid.

SOKOLOV, L.V.; MARKOVETS, M.Y.; SHAPOVAL, A.P. & MOROZOV, Y.G. (1998). Long-term trends in the timing of spring migration of passerines on the Courish Spit of the Baltic Sea. *Avian Ecol Behav* 1: 1–21.

SPARKS, TH. & MASON, C.F. (2001). Dates of arrivals and departures of spring migrants taken from Essex bird reports 1950–1998. *Essex Bird Rep* 1999: 154–164.

STEFANESCU, C.; PEÑUELAS J. & FILELLA (2003). Effects of climatic change on the phenology of butterflies in the northwest Mediterranean Basin. *Global Change Biology* 9: 1494-1506.

VAN VLIET (2008). History and current status of plant phenology in the Netherlands. In "COST Action 725. The history and current status of plant phenology in Europe". COST (European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research).

VISSER, M.E. & BOTH, C. (2005). Shifts in phenology due to global climate change: the need for a yardsick. *Proceedings of the Royal Society of London (Series B)*, 272: 2.561-2569.

ZADOK, J.C.; CHANG, T.T. & KONZAK, C.F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed research* 14, 415-421 and *Eucarpia Bulletin* N° 7: 49-52.