



# 25 avances en entomología agroforestal en 25 años

Sociedad Española de Entomología Aplicada (SEEA). [www.seea.es](http://www.seea.es)

En el último cuarto de siglo se ha producido una tendencia generalizada de aceptación del concepto de Gestión Integrada de Plagas (GIP) que ha dado lugar a una ruptura con el paradigma del control químico en el que estábamos inmersos desde que finalizó la Segunda Guerra Mundial. En este periodo se han acumulado suficientes evidencias científicas que han revelado que el uso exclusivo y sistemático de moléculas orgánicas de síntesis química termina generando graves problemas (insectos resistentes, eliminación de enemigos naturales y emergencia de nuevas plagas, residuos tóxicos, etc.) que hacen que el control químico sea insostenible por sí solo.

**E**n respuesta a esta problemática, la comunidad científica ha reaccionado centrando su atención y esfuerzo en implementar otras metodologías, temporalmente más desatendidas, que convenientemente integradas pueden permitir un control de plagas efectivo, sostenible y compatible con la conservación de los ecosistemas. El control biológico (CB), que había sido olvidado a pesar de haber conseguido claros casos de éxito total o parcial, ha resurgido con enorme fuerza en sus distintas aproximaciones (introducción, conservación, inoculación e inundación) para convertirse en uno de los pilares que sustentan la GIP. Otra parte del CB, el control microbiano, se ha desarrollado tanto en sus fundamentos teóricos como prácticos después de la aparición, en 1959, del concepto de control integrado y hoy es una realidad que aporta soluciones eficaces, por sí solo o combinado con otros métodos, para determinadas plagas. Este despliegue del CB se ha visto favorecido por los importantes avances que se han producido en la cría artificial de insectos, la creación de empresas en la producción y comercialización de agentes de control biológico (ACB) y más recientemente por las disposiciones legislativas que fomentan la GIP. Los plaguicidas químicos siguen considerándose una herramienta útil aunque es preciso entender las bases de los mecanismos de las resistencias generadas por parte de los insectos/ácaros y los efectos secundarios que producen sobre la fauna útil en general y en particular sobre los ACB. Igualmente se hace necesario disponer de nuevas moléculas químicas de síntesis o de origen natural que sean menos persistentes, más específicas y con un modo de acción distinto al de los tóxicos nerviosos convencionales. Otros métodos de protección (empleo de semioquímicos, trameo masivo con atrayentes, control autocida, etc.) han aportado soluciones totales o parciales para algunas plagas de gran interés económico. La identificación de genes que confieren resistencia vegetal frente a las plagas sigue siendo un tema de gran importancia tanto en la mejora convencional como en la construcción de plantas transgénicas. Un ejemplo de la utilidad de estas últimas son las plantas con la capacidad insecticida de *Bacillus thuringiensis* (plantas Bt). Otro tema que conviene resaltar es el de la introducción en España nuevas especies exóticas, procedentes de distintos orígenes geográficos, que se han establecido como plagas importantes desplazando o relegando a un segundo plano, en ocasiones, a otras plagas autóctonas. Las introducciones de plagas exóticas a



*Orius laevigatus.*

menudo hacen necesario redefinir los programas de control de algunos cultivos. Un aspecto novedoso en el control de plagas es la creciente importancia que se le da al medio adyacente, y el efecto de la estructura del paisaje en fitófagos y enemigos naturales, para lo cual es necesario desarrollar sistemas de información geográfica.

Todos estos temas han sido abordados en mayor o menor medida por grupos de investigación y experimentación que se han ido consolidando en los últimos 25 años principalmente en las Universidades, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, los Institutos de Investigaciones Agrícolas y los Servicios de las Comunidades Autónomas y en menor medida por otras instituciones. Buena parte de estos grupos de investigación han ido incorporando a su trabajo rutinario las nuevas técnicas moleculares (PCR, qPCR, secuenciación masiva, etc.) como herramienta imprescindible, en algunos casos, para conseguir un mayor rigor científico. Se echa en falta, sin embargo, una conveniente dedicación al establecimiento de criterios de decisión económicos (ej., umbral económico de daños, umbral de tratamiento), para los cultivos y



plagas en nuestras condiciones de medio, dada la importancia que tienen en la implantación de cualquier programa de GIP.

## 1. Polinización natural de tomate en invernaderos con *Bombus terrestris* L.

La introducción de los abejorros en todos los cultivos de tomate en invernadero en la primera mitad de los años noventa provocó un enorme aumento en términos de productividad y rentabilidad. Por la polinización natural, se ha podido conseguir racimos de tomate mucho más completos, con mejor sabor y de calibre más homogéneos, que mediante el cuaje artificial que se empleaba hasta aquél entonces. La introducción de las colmenas también ha significado un enorme ahorro en mano de obra, puesto que el cuaje artificial, mediante la aplicación de fito-hormonas o mediante la vibración de los racimos, costaba en promedio unos 20 jornales por hectárea mensualmente. De paso, *Bombus terrestris* también ha impuesto una verdadera 'revolución verde' en el cultivo de tomate. Para hacer compatible el control de plagas con los abejorros, los agricultores han tenido que seleccionar sus productos fitosanitarios, descartando un gran número de insecticidas de amplio espectro. Por primera vez, había que respetar un insecto en los cultivos de tomate en vez de matarlo...

## 2. Control biológico de plagas en cultivos hortícolas en invernadero

Especialmente en cultivos hortícolas en invernadero, el control de plagas mediante productos químicos había llegado a una situación complicada en los años 90. El uso abusivo y repetido de algunas materias activas había provocado el desarrollo de resistencia en algunas plagas, haciendo difícil su control. Después de más de 10 años de investigación y aprendizaje, los resultados del control biológico se volvieron cada vez más fiables y atractivos para los agricultores. La primera zona donde se implementó masivamente el uso de la fauna auxiliar fue en el pimiento bajo plástico en el Campo de Cartagena, entre 2000 y 2001. Posteriormente, en 2007, también se produjo el gran cambio en Almería, llegando en un solo año a más de 6.000 hectáreas de pimiento, el 85% del total, desde 650 ha en la campaña anterior. Clave en esta 'revolución' ha sido el enorme éxito en el control de trips mediante el chinche antocórido *Orius laevigatus* y los ácaros depredadores *Amblyseius cucumeris* y *A. swirskii*. La introducción de la última especie también ha significado una mejora muy notable en el control de la mosca blanca, *Bemisia tabaci*. Desde 2007, el control biológico paulatinamente también ha llegado a los otros cultivos en invernadero, con un amplio abanico de especies parasitoides y depredadores disponibles contra la mayoría de las plagas. En tomate, un gran avance ha sido la introducción del chinche mírido *Nesidiocoris tenuis* en la fase del semillero, por lo cual las plantas ya llegan 'inoculadas' con este depredador al invernadero de producción, aunque el hecho que pueda producir daños a la planta en ausencia de plaga obliga a una intensa supervisión técnica. Actualmente, se puede estimar que el control biológico es la principal herramienta contra plagas en el 80% de los invernaderos hortícolas en España.

## 3. Control biológico de *Gonipterus platensis* Marelli: primer programa de lucha biológica masiva a nivel forestal en la península

Como consecuencia de la introducción en España, en 1991, del defoliador del eucalipto *Gonipterus platensis* Marelli (= *G. scutellatus* Gyll.) (Coleoptera: Curculionidae) los rendimientos de esta especie forestal de turno corto sufrieron una merma importante, con gran impacto sobre el sector forestal de las regiones del norte de España. Debido a la microparcelación del monte, la mejor alternativa de control era el biológico, por lo que en 1994 se introdujo el parasitoide *Anaphes nitens* Girault (Hymenoptera: Mymaridae) con el que se establecieron diferentes



*Citrostichus phyllocnistoides* parasitando una larva del minador de hojas de cítricos.

programas de liberaciones masivas, no solo en España sino también en Portugal, que han permitido, en general, la regulación de la población nociva.

## 4. Las proteínas insecticidas de *Bacillus thuringiensis* como nuevo paradigma en el control de plagas

Desde mediados de siglo era bien conocido el potencial de *Bacillus thuringiensis* para el control de plagas de la agricultura y, algo más recientemente, este potencial se amplió al control de vectores de enfermedades, tales como los mosquitos y mosca negra, con el descubrimiento del serovar *israelensis*. Sin embargo, la última década del siglo pasado ha sido testigo de la adopción, a nivel mundial, de los cultivos Bt: cultivos que expresan genes de *B. thuringiensis* que codifican proteínas insecticidas, por lo que están protegidos contra los ataques de algunas plagas de insectos, en especial contra orugas.

Los cultivos Bt se plantaron por primera vez con fines comerciales en el año 1996, en 1,1 millones de hectáreas (Mha) repartidas entre el algodón Bt (la mayor parte en EE.UU., pero también en Australia y Méjico) y el maíz Bt (en EE.UU.). En 2012 esta cifra se ha convertido en 69,8 Mha a nivel mundial, de las cuales aproximadamente dos tercios del área está dedicada a cultivos que combinan la resistencia a insectos con la tolerancia a herbicidas. El maíz Bt y el algodón Bt son, con mucho, los cultivos resistentes a insectos de mayor adopción. España es el país europeo que más extensión dedica a los cultivos Bt (maíz Bt), con una extensión de 116 mil hectáreas, que suponen el 90% del área que se dedica en Europa a los cultivos transgénicos. La adopción de cultivos Bt está en rápido crecimiento y, actualmente, el área que se le dedica es mayor entre los países en vías de desarrollo que en los países industrializados, lo que refleja las ventajas que confieren tanto a unos países como a otros.

## 5. Los hongos entomopatógenos como agentes de control de plagas

El creciente interés que en las últimas décadas ha despertado el control microbiano de plagas en el mundo, no ha pasado desapercibido en el seno de la Sociedad Española de Entomología Aplicada, con un amplio porcentaje de sus integrantes dedicado al estudio de los microorganismos entomopatógenos (MEP) como agentes de control de Plagas. Dentro de estos microorganismos se encuentran los hongos entomopatógenos (HE), un grupo heterogéneo de más de 700 especies pertenecientes a más de 100 géneros, la mayor parte pertenecientes al orden Entomophthorales de la clase Entomophthoromycota, y al orden Hypocreales de

la clase Ascomycota, que comparten su capacidad de infectar a los artrópodos por vía tegumentaria, modo de acción por contacto que les distingue entre los MEP, y que les convierte en principal alternativa para el control, entre otros, de insectos picadores chupadores, insectos de suelo, langostas y saltamontes, insectos sinantrópicos, insectos invasores e incluso insectos de interés médico veterinario. En la actualidad, la mayor parte del mercado mundial de micoinsecticidas se dirige al control de homópteros y ácaros en horticultura bajo abrigo, así como al de insectos de suelo en sistemas extensivos. Los hongos suponen un 20% de la cuota de mercado de insecticidas microbianos (710 millones de dólares en 2012), es decir, unos 140 millones de dólares, de los que aproximadamente un 10% corresponde al mercado europeo, en el que destaca España. La cuota de los HE en el mercado mundial de biopesticidas ha crecido en la última década a razón de un 13,9% anual, y las proyecciones realizadas hasta 2017 indican que este ratio será del 16,4% anual, en especial en Europa, el continente donde más crece el mercado de insecticidas microbianos, tendencia que permanecerá si las cepas seleccionadas responden al escenario actual de cambio climático. Además, trabajos realizados en el último lustro ponen de manifiesto no sólo que los HE son una fuente inexplorada de nuevas moléculas insecticidas de origen natural, sino que presentan funciones ecológicas sorprendentes e inéditas como endófitos de las plantas, como agentes competentes en la rizosfera, e incluso como antagonistas de microorganismos fitopatógenos, que pueden permitir nuevas aplicaciones en Sanidad Vegetal.

#### 6. Los baculovirus como agentes de control biológico

De los más de 1.600 virus patógenos de invertebrados, los baculovirus (Baculoviridae) son los únicos que se han desarrollado como agentes de control de plagas debido a sus buenas propiedades insecticidas (elevadas patogenicidad y virulencia) y su seguridad de empleo para otros organismos incluido el hombre. Los baculovirus se han aislado de más de 700 especies de insectos, muchos de los cuales originan plagas de gran importancia económica, y unos 50 de ellos se comercializan como bioinsecticidas, principalmente por pequeñas y medianas empresas, para su uso en el control de plagas causadas por *Cydia pomonella* (300.000 ha), *Anticarsia gemmatalis* (2 millones de ha), *Helicoverpa armigera* (100.000 ha), *Limantria dispar* (200.000 ha) y, en menor medida, otras muchas plagas de insectos. Actualmente hay un creciente interés por los baculovirus dado su gran potencial, fácil manejo y aplicación, compatibilidad con otros agentes control y la no generación de residuos tóxicos. Todo ello hace de los baculovirus una herramienta valiosa para su inclusión tanto en la producción integrada como ecológica de cultivos al mismo tiempo que favorecen el desarrollo de una agricultura sostenible.

#### 7. Uso de los nematodos entomopatógenos en el control biológico de plagas

El interés en el uso de los nematodos entomopatógenos (NEPs) (*Steinernema* spp y *Heterorhabditis* spp) como agentes de control biológico de plagas se ha incrementado exponencialmente en las últimas dos décadas. Los NEPs en asociación mutualista con bacterias de los géneros *Xenorhabdus* (para *Steinernema* spp) y *Photorhabdus* (para *Heterorhabditis* spp) están siendo utilizados para el control de importantes plagas (*Capnodis*, *Rhynchophorus*, esciáridos, etc.)

Uno de los factores que ha hecho posible desarrollar el uso de los NEPs ha sido la optimización de su producción *in vitro* en medio líquido y el uso de nuevos diseños de biorreactores (de hasta 75.000 L) que han permitido su cría masiva y abaratar su precio. Otros factores como las mejoras en su formulación o en las técnicas utilizadas para su aplicación, han aumentado su eficacia contra

diversas plagas tanto en tratamientos de suelo como foliares, incrementando así su uso comercial.

Igualmente, el descubrimiento de nuevas especies y/o cepas de NEPs ha permitido disponer de nematodos más eficaces. Desde 1923 que se descubrió la primera especie de NEP más de 85 especies han sido descritas y más de la mitad han sido descubiertas en los últimos 10 años. Disponer de una gran variedad de especies y cepas autóctonas de nematodos permite tener un gran potencial para mejorar la virulencia u otras propiedades deseables en los NEPs. Sin embargo, actualmente menos del 20% de las especies descubiertas desde 2001 han sido evaluadas como agentes de control biológico, lo que indica el enorme potencial por descubrir que presentan estos nematodos. Otra vía para aumentar la eficacia de los NEPs es la mejora genética de los mismos, que incluye tanto la selección genética como la hibridación (transferir características beneficiosas de una cepa de nematodo a otra). La utilización de estas técnicas permitirá conseguir cepas más resistentes a los factores ambientales adversos o mejor adaptadas a localizar y parasitar al insecto, siendo por tanto más eficaces en el control de muchas más plagas.

Todos estos avances en el estudio de los NEPs han hecho posible su expansión como agentes de control biológico de plagas en las últimas décadas y permiten entrever la enorme potencialidad que todavía tienen para incrementar su uso en el control de plagas agrícolas.

#### 8. La implantación del Manejo Integrado de Plagas en la industria agroalimentaria

En los últimos años se ha producido un cambio radical en el manejo de las plagas que afectan a las materias primas y a los alimentos que se elaboran en las instalaciones agroalimentarias con la incorporación de nuevas y eficientes tecnologías que son más respetuosas con el medioambiente y la salud de las persona. El control de las plagas se basaba casi exclusivamente en los tratamientos químicos, y entre las sustancias que se usaban, el bromuro de metilo era una de las más habituales. Sin embargo, en la actualidad el uso de este fumigante no está permitido en cumplimiento de los acuerdos del protocolo de Montreal sobre la eliminación de las sustancias que afectan a la capa de ozono. Los cambios se han de fundamentar en la implementación de programas de Manejo Integrado de Plagas que den prioridad a las acciones preventivas, la higiene, las barreras físicas y al seguimiento minucioso de las poblaciones de las plagas como la mejor solución para evitar problemas posteriores, y reserven las medidas de control para los casos estrictamente necesarios. Solo un número muy reducido de materias activas están registradas para su uso en poscosecha. Como consecuencia de esta limitación los insecticidas se utilizan de forma repetitiva, lo que implica un riesgo de aparición de resistencias, convirtiendo el control químico en muy complicado y, en algunos casos, totalmente inefectivo. Entre las alternativas a los insecticidas tradicionales se han puesto a punto las aplicaciones con atmósferas modificadas, los tratamientos térmicos o el uso de aditivos y bioactivos de origen vegetal. El control biológico u otras técnicas no químicas como la lucha por confusión sexual están muy poco desarrolladas para su aplicación en la industria agroalimentaria, a pesar de que las instalaciones relativamente cerradas de las fábricas son ideales para su aplicación. El uso de estos métodos tiene diversas ventajas entre las que destacarían su inocuidad para con los trabajadores de las industrias, los consumidores finales y el medioambiente.

#### 9. Directiva del Consejo de 15 de julio de 1991 relativa a la comercialización de productos fitosanitarios (91/414/CEE)

La directiva 91/414/CEE "considerando que la utilización de productos fitosani-





arios es uno de los métodos más importantes de protección de los vegetales y productos vegetales y de mejora de la producción agrícola; que dichos productos fitosanitarios no sólo tienen efectos favorables en la producción vegetal; que su utilización puede entrañar riesgos y peligros para las personas, los animales y el medioambiente” pretendía sentar las bases para:

- La armonización de las normas que regulan la autorización de productos fitosanitarios en toda la Unión Europea
- El establecimiento de una lista comunitaria de las sustancias activas autorizadas.
- La utilización de productos fitosanitarios eficaces, pero sin efectos inaceptables sobre los vegetales ni el medio ambiente en general ni, en particular, efectos nocivos sobre la salud humana o en las aguas subterráneas. Para ello, la directiva estableció una batería de requisitos que debían presentar todas las materias activas para ser incluidas en la lista.

Veintidós años después, la directiva ha supuesto una auténtica revolución en el mundo de los productos fitosanitarios, destacando como aspectos positivos el avance en la seguridad y protección medioambiental, especialmente en el control sobre los efectos en otros organismos ajenos al objetivo, y como aspectos negativos la drástica reducción de sustancias activas disponible en el mercado, con los problemas de resistencia que puede conllevar o la práctica ausencia de productos disponibles en determinados cultivos, sobre todo, los menores. La reducción de materias activas ha sido mayor en los insecticidas y acaricidas que en otros fitosanitarios, lo que agrava la situación en los países del sur de Europa, como España, donde su uso es mayor.

### 10. Neonicotinoides y bisacilhidracinas: dos nuevos grupos de insecticidas que aparecen en los años noventa.

El descubrimiento de los neonicotinoides se puede considerar como un hito en la investigación de insecticidas. Desde la introducción del imidacloprid en 1991, probablemente representan la clase de insecticidas de mayor crecimiento en el mercado mundial desde que aparecieron los piretroides, allá por los años setenta, al ir sustituyendo paulatinamente a compuestos más antiguos, con un perfil medioambiental menos favorable, como carbamatos y organofosforados. Presentan como ventajas indudables el ser especialmente activos contra plagas de chupadores como pulgones y moscas blancas, sus amplias posibilidades de aplicación (pulverización foliar, tratamiento de semillas, de suelos...), su actividad sistémica, baja toxicidad en mamíferos y tener un nuevo sitio de acción (grupo 4A, Neonicotinoides, IRAC). Por el contrario, su seguridad frente a polinizadores en general y, particularmente con las abejas, ha sido objeto de numerosos estudios científicos y debate público. En España están actualmente registrados acetamiprid, clotianidina, imidacloprid, tiametoxan y tiacloprid.

También en el año 1991, se publica el descubrimiento de un prototipo de insecticida, el RH-5489, el primer agonista de la hormona de la muda de tipo no esterooidal (grupo 18, agonistas del receptor de la ecdisona, IRAC), con un amplio espectro de acción contra lepidópteros, coleópteros y dípteros. Posteriormente se comercializarán, por este orden, tebufenocida, metoxifenocida y halofenocida, siendo el metoxifenocida el más ampliamente registrado y utilizado en el mundo por su elevada selectividad hacia lepidópteros con muy bajas dosis de aplicación, así como por poseer un perfil ecotoxicológico muy favorable para su utilización en Manejo Integrado de Plagas.

### 11. Insecticidas de origen natural para la agricultura ecológica

La azadiractina y el spinosad son dos herramientas clave para la agricultura ecológica.



Larva de *Spodoptera exigua* muerta por una infección causada por un *Alphabaculovirus* en tratamientos realizado en cultivo de pimientos.

Estos insecticidas de origen natural son de los pocos productos autorizados y que además son eficaces. La azadiractina es eficaz para mosca blanca, trips, orugas, minador, tuta y pulgones y reduce la población de ácaros. El spinosad sirve para tratar trips y orugas de lepidópteros incluyendo tuta, además en formulaciones cebo está permitido para el control de mosca de la fruta y mosca del olivo. Por sus novedosos modos de acción en insectos, su reducida toxicidad para mamíferos y su inocuidad para auxiliares han sido un avance clave en agricultura ecológica que también está a disposición de la agricultura convencional.

La azadiractina es el principal compuesto activo obtenido del árbol neem (*Azadirachta indica* A. Juss., Meliaceae). Es un limonoide y está clasificado por IRAC dentro del grupo 18B –disruptores / agonistas de la ecdisona- (diferenciándose del grupo 18A a la que pertenecen las diacilhidracinas). Actúa como regulador del crecimiento de insectos y otros artrópodos, tiene efecto sobre larvas y pupas, es decir principalmente en los primeros estadios de desarrollo de insectos. También se le atribuyen efectos antialimentarios y repelentes e interfiere en la comunicación y fecundidad de los insectos plaga. Resulta inocuo para auxiliares, dado que su acción es mayor por ingestión, si bien hay ciertos efectos secundarios sobre *Chrysoperla* y ácaros fitoseidos que pueden ser evitados si no se trata cuando los depredadores estén en estadios larvarios.

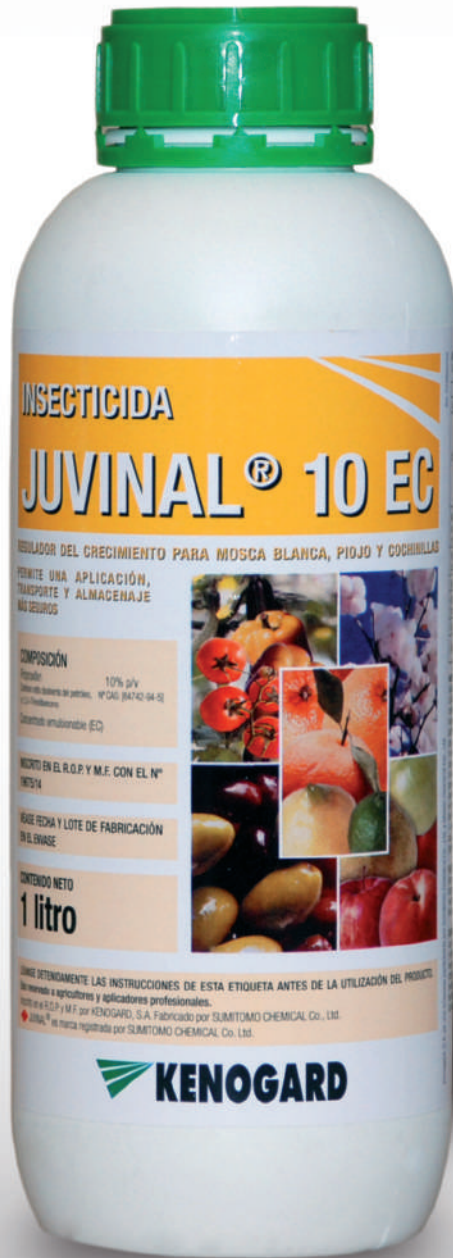
El spinosad es otro compuesto natural, obtenido por la bacteria actinomiceto del suelo *Saccharopolyspora spinosa* Mertz y Yao. Es neurotóxico y actúa sobre los receptores post-sinápticos de la acetilcolina nicotínica y los receptores GA-BA en insectos, resultando de toxicidad muy baja para mamíferos. Según IRAC las espinosinas pertenecen al Grupo 5 (diferenciándose del Grupo 4, donde se encuentran los neonicotinoides). En laboratorio presenta cierta toxicidad por ingestión para chinches depredadores e himenópteros parasitoides, efectos que pueden evitarse en campo con un adecuado manejo.

### 12. Aparición de resistencia a insecticidas y acaricidas y desarrollo de estrategias de manejo

El desarrollo de resistencia a plaguicidas ha sido un problema creciente en todo el mundo en las últimas décadas. El uso repetido de los plaguicidas provoca la selección de los individuos resistentes, que terminan por ser mayoritarios en la población. Esto origina una falta de control de la plaga, con problemas asociados de sobreuso de plaguicidas. En la actualidad se han citado más de 800 referencias de especies de insectos o ácaros con resistencia a algún producto fitosanitario. En



Después  
de 20 años,  
el primero  
sigue siendo  
el número



 **1 JUVINAL®**  
La eficacia del original

 **KENOGARD**  
CULTIVAMOS LA INVESTIGACIÓN  
[www.kenogard.es](http://www.kenogard.es)



España son bien conocidos los casos de resistencia en *Bemisia tabaci*, *Frankliniella occidentalis*, *Tetranychus urticae*, *Cydia pomonella*, *Helicoverpa armigera*, y *Myzus persicae*, por citar sólo algunos de los que más graves repercusiones han tenido en el campo.

Las nuevas regulaciones de los fitosanitarios en la UE han reducido el número de productos disponibles en la protección de los cultivos. Al tener menos herramientas disponibles, se tiende a usar más frecuentemente las mismas, llevando a un uso repetido o sobreuso de algunos compuestos, lo que provoca un mayor desarrollo de resistencias. Además, la creciente y exitosa integración de las medidas de control biológico, demanda plaguicidas compatibles con los enemigos naturales. Al ser más escasos estos compuestos compatibles, se tiende más a su uso reiterado, lo que ocasiona un aumento del riesgo de desarrollo de resistencias.

Las estrategias de manejo de las resistencias se basan en la alternancia de uso de materias activas sin resistencia cruzada, es decir, afectadas por distintos mecanismos de resistencia. Por tanto, el conocimiento de los mecanismos de resistencia implicados, las resistencias cruzadas, así como el seguimiento de la evolución de la resistencia en los plaguicidas, es una cuestión vital para un uso sostenible de los fitosanitarios, como se define en la Directiva 2009/128/CE. El avance en el conocimiento del fenómeno de la resistencia a plaguicidas y de las estrategias de manejo han sido una contribución clave en el desarrollo de la entomología aplicada en los últimos 25 años.

### 13. Directiva de uso sostenible de productos fitosanitarios (2009/128/CE)

La directiva 2009/128/CE afectará decisivamente en los próximos años a la utilización de los plaguicidas autorizados en la Unión Europea.

Sus objetivos generales son:

- 1) Fomentar la Gestión Integrada de Plagas (GIP)
- 2) Reducir los riesgos y efectos derivados de la utilización de productos fitosanitarios, especialmente en el ámbito de la salud humana y del medio ambiente.
- 3) Reducir la dependencia del uso de su uso.

Para alcanzarlos, los países miembros han elaborado planes de acción nacionales (PAN) con medidas concretas, calendarios de implantación e indicadores del progreso alcanzado. Los PAN serán revisados en periodos de cinco años.

El cumplimiento de la directiva supone en primer lugar aplicar la GIP en todos los cultivos (salvo excepciones) a partir de 2014. Aunque en nuestro país la protección integrada, la agricultura ecológica, las producciones certificadas (todas asimilables al concepto GIP que contempla la directiva) tienen un peso importante en algunos sectores, su generalización conducirá al empleo prioritario de otras herramientas de control alternativas al control químico, y por tanto a una menor dependencia de los plaguicidas en la protección vegetal.

Supone también la adopción de una importante batería de compromisos y medidas que afectan al uso sostenible de los productos fitosanitarios. Cabe destacar de forma muy general la regulación de las buenas prácticas agrícolas, la agilización de la autorización nacional de nuevos productos, el seguimiento y recogida de información de su empleo (venta, distribución, tratamientos, ROPO), el censo e inspecciones de los equipos de aplicación y la detección y seguimiento de los casos de intoxicación y contaminación.

Como aspecto negativo señalar el importante esfuerzo económico que asume el agricultor (inspecciones de equipos, contratación de un asesor, adopción de nuevas estrategias de control, etc). En este sentido, es importante trasladar a la



**Daños por *Tuta absoluta* en tomates.**

opinión pública que la nueva directiva aporta a la producción agrícola europea un valor añadido de seguridad alimentaria y respeto al medio ambiente,

### 14. Insecticidas y acaricidas para un nuevo milenio

En la primera década del siglo XXI están apareciendo en el mercado nuevos compuestos plaguicidas diseñados para la Gestión Integrada de Plagas (GIP). Estos insecticidas y acaricidas, como los derivados de los ácidos tetrónico y tetrámico (spirodiclofén, spiromesifén y spirotetramat), las diamidas (clorantropiliprol, flubendiamida y ciantraniliprol), y compuestos como la emamectina y la metaflumizona, aúnan una magnífica eficacia en campo con un perfil ecotoxicológico muy favorable. Su elevada compatibilidad con los agentes de control biológico y los polinizadores les convierte en una excelente herramienta para la agricultura del nuevo milenio. A esto se añade el hecho de que no presentan resistencia cruzada con otros grupos de insecticidas, además de un novedoso modo de acción, siendo por tanto excelentes candidatos para un manejo de la resistencia. Sus excelentes características favorecerán su uso sostenible.

### 15. Nuevos atrayentes y trampas permiten el uso comercial del trapeo masivo como método de control de la mosca de la fruta

La mosca de la fruta *Ceratitis capitata* ha sido históricamente una de las plagas más difíciles de controlar, a pesar de que se han realizado intensos esfuerzos para buscar alternativas al empleo de productos fitosanitarios en su control. A mediados de la década de 1990 se descubre el efecto de tres sustancias que muestran sinergia en su capacidad de atracción de las hembras del insecto, que hasta entonces solo había tenido atrayentes eficaces para los machos. Ello inició la posibilidad de la aplicación del trapeo masivo como forma directa de control de las poblaciones del insecto en el campo, con la rápida comercialización de nuevas sustancias con mayor poder de atracción y/o menores riesgos ambientales, así como con nuevas trampas cada vez más eficaces en la captura del insecto.

### 16. La técnica de la confusión sexual en el control de plagas

La confusión sexual con feromonas es uno de los métodos más elegantes de control de insectos. Esta metodología ha avanzado enormemente simplificando su implementación al reducir el número de difusores a colocar de varios cientos a 2 por hectárea. Además sigue explorando nuevas posibilidades como la auto-





confusión o el "menage a trois", o la utilización de semioquímicos que sustituyan o suplementen a las clásicas feromonas. Su campo además ya no se limita a las plagas de lepidópteros en las que hace años que se aplican como *Lobesia botrana* en viña, *Cydia pomonella* en frutales de pepita, *Cydia molesta* y *Anarsia lineatella* en frutales de hueso, ya se está aplicando el método a cochinillas como el piojo rojo de california *Aonidiella aurantii* en cítricos

### 17. Empleo de semioquímicos en el monitoreo de plagas de frutales

El monitoreo de plagas mediante la utilización de semioquímicos ha sido y sigue siendo uno de los instrumentos básicos en el manejo integrado de plagas. A partir de sus resultados, se validan estrategias y se justifican, conjuntamente con otros datos (grados-día, umbrales de daño, etc), las distintas actuaciones que se realizan en las fincas para controlar una plaga. La búsqueda de nuevas sustancias atrayentes es continua y, en muchos casos, las hembras son el foco principal de atención, como ha sido el reciente descubrimiento del ester de las peras, (2E, 4Z) - decadienoato de etilo, atrayente de hembras y machos de carpocapsa o el descubrimiento en los años 90 del atrayente de tres componentes para ambos sexos de la mosca de la fruta (trimetilamina, acetato amónico y putrescina). El reto de descubrir nuevas sustancias que jueguen este papel, viene acompañado de la necesidad de ajustar los umbrales de tolerancia.

### 18. Avance en el control autocida de la mosca de la fruta *Ceratitis capitata* Wied.

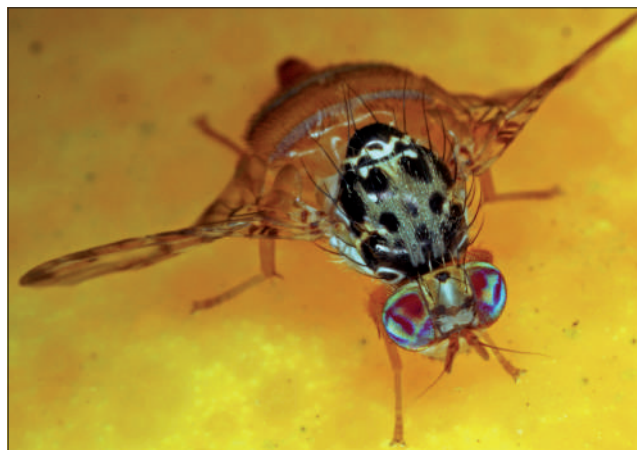
En 2005 se inaugura en Caudete (Valencia) una biofábrica para la producción de machos estériles de la mosca de la fruta *Ceratitis capitata*, a fin de aplicar la Técnica de Insecto Estéril (TIS) al control de esta grave plagas de frutales y cítricos. Es la primera biofábrica de machos estériles de Europa y la segunda del mundo en producción. Su capacidad de producción es de 150 a 500 millones de machos estériles a la semana. La TIS se basa en la liberación masiva y continuada de machos estériles en amplias zonas de cultivo, de forma que compiten con los machos salvajes por las hembras y en la cópula estas resultan a su vez estériles. De esta forma la población de la plaga desciende de forma continuada, lo que permite reducir al mínimo los tratamientos con plaguicidas para su control.

### 19. Expansión por todo el mundo y control biológico del minador de hojas de cítricos

Uno de los acontecimientos fundamentales en el ámbito de las plagas de cítricos en estos últimos 25 años ha sido la rápida expansión por Europa y América durante la última década del siglo XX del minador de hojas de cítricos *Phyllocnistis citrella*, que hasta ese momento se encontraba presente solo en cítricos cultivados en Asia. Los intensos daños producidos en las brotaciones causaron gran alarma. Se llevó a cabo un intenso trabajo coordinado entre investigadores de muchos países citrícolas para la introducción de enemigos naturales capaces de controlar la plaga que culminó con el establecimiento de dos especies de himenópteros parasitoides muy eficaces, el encírtido *Ageniaspis citricola*, en áreas de clima tropical, y el eulófido *Citrostichus phyllocnistoides*, en climas mediterráneos.

### 20. Los diaspídeos serpetta gruesa y piojo gris han sido reemplazados progresivamente por el piojo rojo de California como plaga más importante del cultivo de los cítricos en España

Los diaspídeos han sido históricamente las plagas sobre las cuales se ha centrado la estrategia del uso de plaguicidas en el cultivo de los cítricos de la cuenca mediterránea y en muchas otras zonas productoras de cítricos. Para su control se introdujeron técnicas novedosas en su momento como la fumigación cianhídrica



Hembra de *Ceratitís capitata* sobre una naranja.

o los aceites minerales. En nuestro país las especies de diaspídeos causantes de los daños han evolucionado y en los últimos 25 años se ha producido un cambio fundamental, el reemplazo progresivo de la serpetta gruesa (*Lepidosaphes beckii*) y el piojo gris (*Parlatoria pergandii*) por el piojo rojo de California (*Aonidiella aurantii*), lo que ha obligado a alterar los productos y estrategias para su control. *Aonidiella aurantii* está considerada actualmente la plaga más importante de cítricos en todo el mundo.

### 21. Invasión del picudo rojo y estrategias de lucha

*Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) (Coleoptera: Curculionidae), el picudo rojo, se detectó por primera vez en 1993 en Almería y Granada, pero ha sido a partir de 2005 cuando se ha extendido por todo el mediterráneo y ha provocado la muerte de miles de palmeras. Esta plaga afecta a diferentes especies de palmera, especialmente del género *Phoenix*, como la palmera datilera (*Phoenix dactylifera*), aunque ha encontrado un hospedante excepcional en la palmera canaria (*Phoenix canariensis*). Dado que sus hospedantes están situados en jardines privados y parques públicos, el manejo de la plaga, su detección y su control se hacen especialmente complejos. El picudo rojo provoca generalmente la muerte del ejemplar atacado, ya que su detección temprana es difícil dado que se la larva se alimenta en el interior. De igual modo esto le confiere protección y gran adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas. Diversos grupos de investigación españoles han realizado un importante esfuerzo en el estudio de esta plaga de cara a un control efectivo. Se han estudiado en profundidad su biología y ecología, y se han desarrollado sistemas de trampeo mediante el uso de semioquímicos. Aunque se han desarrollado métodos eficaces de control químico y biológico mediante entomopatógenos, su implementación y aplicación siguen siendo difíciles dadas las características de sus hospedantes.

### 22. Invasión de *Tuta absoluta* y desarrollo de estrategias de control

La polilla del tomate *Tuta absoluta* es una plaga clave en el cultivo del tomate en Sudamérica de donde es originaria. Desde su detección a finales de 2006 al norte de la provincia de Castellón, se ha expandido rápidamente a otros países de la Cuenca Mediterránea, norte y centro de Europa y Oriente Medio. Este fitófago se ha convertido en una seria amenaza para el cultivo del tomate ya que es capaz de provocar pérdidas del 100% si no se adoptan medidas para su control. Sus larvas se alimentan vorazmente de hojas, tallos y frutos. En zonas de reciente



colonización, *T. absoluta* desató pérdidas importantes, lo que obligó a combatirla químicamente como medida de urgencia para su control. Sin embargo, el miedo a la aparición de resistencia a plaguicidas, tal y como ocurrió en su zona de origen, y la necesidad de utilizar otros métodos de control que redujesen los residuos en fruto, obligó a redirigir el control de este fitófago hacia estrategias de gestión integrada de plagas (GIP) centradas principalmente en el control biológico. La aplicación de GIP ha reducido considerablemente el impacto de este fitófago, siendo los enemigos naturales autóctonos (control biológico fortuito) una de las claves de este declive. En particular el depredador polífago *Nesidiocoris tenuis*, ha mostrado una elevada efectividad en el control de *T. absoluta*, lo que ha permitido el desarrollo de estrategias de control biológico a gran escala en el cultivo del tomate.

### 23. Avances en el estudio de la resistencia vegetal a las plagas de insectos y nematodos en el cultivo de tomate

La resistencia vegetal es uno de los principales componentes de la Gestión Integrada de Plagas y, por tanto, durante los últimos años se ha observado en muchos países un incremento de las investigaciones encaminadas a favorecer el uso de variedades resistentes a los organismos-plaga. Esto ha producido un importante avance en el conocimiento disponible de las respuestas defensivas de las plantas contra el ataque de ciertos organismos nocivos. La resistencia vegetal a plagas y enfermedades está mediada por defensas activas que se desencadenan en la planta por la presencia de determinados genes de resistencia (genes R). Las nuevas técnicas moleculares desarrolladas durante los últimos años han permitido clonar algunos de estos genes R que confieren resistencia en distintas especies vegetales frente al ataque de diversos grupos de organismos perjudiciales, incluyendo bacterias, hongos, virus o nematodos. Pero entre todos estos genes, el gen *Mi-1* del tomate destaca por ser, hasta el momento, el único gen R clonado que confiere resistencia frente a plagas de insectos. Desde los años 40 ya se conocía que la resistencia en tomate a tres especies de nematodos del género *Meloidogyne* estaba mediada por este gen, entonces denominado *Mi*. Pero fue durante los últimos años cuando se comenzó a sospechar, y finalmente se demostró, que el mismo gen también era responsable de la resistencia a ciertas especies de áfidos y moscas blancas: A finales de la década de los 90 se demostró en Estados Unidos la implicación de este gen en la resistencia a ciertos aislados del áfido de la patata *Macrosiphum euphorbiae*. Posteriormente, en estudios realizados en España, se hallaron los primeros indicios de que este mismo gen o algún otro ligado a él podría estar implicado en una resistencia parcial a la mosca blanca *Bemisia tabaci*, basada en antibiosis y antixenosis y no asociada a la presencia de tricomas glandulares ni de sus exudados. Finalmente, el clonaje del gen *Mi-1* facilitó la transformación de plantas susceptibles para expresar este gen, lo que permitió demostrar en nuestro país que *Mi-1* es el gen responsable de la resistencia a los biotipos B y Q de *B. tabaci*. La colaboración entre los equipos de investigación en ambos países permitió demostrar posteriormente que un nuevo gen denominado *Rme1* también es necesario en la resistencia *Mi-1* frente a nematodos, áfidos y moscas blancas. A partir de entonces se ha continuado con la identificación de otros genes implicados en la resistencia *Mi-1*, profundizando cada vez más en el conocimiento de las similitudes y diferencias de las respuestas resistentes de este cultivo frente a organismos en principio tan dispares como los nematodos y los insectos, pero mediadas por un mismo gen principal de resistencia.

### 24. Contribución de las técnicas moleculares al control biológico de plagas

La incorporación de herramientas biotecnológicas a la protección de cultivos, y en particular al control biológico de plagas, ha permitido responder satisfactoriamente



**Daños producidos por *Rhynchophorus ferrugineus* en palmeras en Pego (Alicante).**

a las necesidades demandadas por la producción agrícola del siglo XXI. Si bien las técnicas moleculares de última generación han sido siempre utilizadas previamente en especialidades de otros ámbitos, como las relacionadas con la medicina, los entomólogos han ido poco a poco incorporándolas con éxito en sus estudios. Estas técnicas, como la PCR convencional, la PCR a tiempo real, la secuenciación, o incluso más recientemente la secuenciación masiva han irrumpido en el control biológico de plagas de forma notable durante los últimos 25 años, y actualmente se han incorporado ya en sus programas como herramienta imprescindible. Durante estos años, se han desarrollado multitud de marcadores moleculares cuya finalidad no sólo se ha encaminado a estudiar las relaciones filogenéticas entre especies, a identificar especies crípticas o a estudiar su taxonomía o filogeografía, sino también a estudiar la procedencia de las especies invasoras y su distribución, así como a facilitar el estudio ecológico de los enemigos naturales (depredadores y parasitoides) utilizados en control biológico clásico, aumentativo o conservativo. Como es sabido, el éxito de un programa basado en el control biológico radica en la selección del enemigo natural idóneo para una determinada plaga, por lo que se hace imprescindible llegar a identificar correctamente el enemigo natural, las especies plaga y las interacciones tróficas que se pueden dar entre ambos. A finales de los 90 se publicaron los primeros estudios de depredación basados en la detección de ADN de la presa ingerida, y a lo largo de estos años ésta detección molecular ha sido utilizada en multitud de agroecosistemas tanto hortícolas, como frutales o extensivos. Estas herramientas moleculares han permitido por ejemplo, estimar la eficacia de un depredador sobre las diferentes presas presentes en el ecosistema; determinar cuál es el depredador más eficaz para una plaga dada, analizar el papel de presas no-plaga en el mantenimiento de los depredadores polífagos en el cultivo; o estimar el nivel de parasitismo y la distribución de parasitoides en un área determinada.

### 25. La importancia del paisaje en el control de plagas

La escala espacial en Entomología Aplicada ha ganado importancia en los últimos 25 años y se ha transitado desde un control muy focalizado en el insecto fitófago en la parcela agrícola, a otro que tiene en cuenta cada vez más el medio ambiente adyacente a dicha parcela, ya que los insectos no están aislados en el agroecosistema y su experiencia del medio ambiente ocurre a escala de paisaje. El desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha permitido que se estudie el efecto de la estructura del paisaje en fitófagos y enemigos naturales, aunque de momento la mayoría de estos estudios se han llevado a cabo en cultivos anuales y condiciones medioambientales del norte de Europa y faltan estudios en cultivos perennes y en regiones mediterráneas.