

Conclusiones de la Evaluación Mundial Integrada sobre los riesgos de los neonicotinoides y el fipronil para la biodiversidad y el funcionamiento del ecosistema

van der Sluijs, J.P.^{1,30}, Amaral-Rogers, V.², Belzunces, L.P.³, Bijleveld van Lexmond, M.F.I.J.⁴, Bonmatin, J.-M.⁵, Chagnon, M.⁶, Downs, C.A.⁷, Furlan, L.⁸, Gibbons, D.W.⁹, Giorio, C.¹⁰, Girolami, V.¹¹, Goulson, D.¹², Kreutzweiser, D.P.¹³, Krupke, C.¹⁴, Liess, M.¹⁵, Long, E.¹⁴, McField, M.¹⁶, Mineau, P.¹⁷, Mitchell, E.A.D.^{18,19}, Morrissey, C.A.²⁰, Noome, D.A.^{4,21}, Pisa, L.¹, Settele, J.^{22,23}, Simon-Delso, N.^{1,24}, Stark, J.D.²⁵, Tapparo, A.²⁶, Van Dyck, H.²⁷, van Praagh, J.²⁸, Whitehorn, P.R.²⁹, Wiemers, M.²²

¹ Department of Environmental Sciences, Copernicus Institute, Utrecht University, Heidelberglaan 2, 3584 CS Utrecht, The Netherlands

² Buglife, Bug House, HamLane, Orton Waterville, Peterborough PE2 5UU, UK

³ INRA, UR 406 Abeilles and Environnement, Laboratoire de Toxicologie Environnementale, Site Agroparc, 84000 Avignon, France

⁴ Task Force on Systemic Pesticides, Pertuis-du-Sault, 2000 Neuchâtel, Switzerland

⁵ Centre National de la Recherche Scientifique, Centre de Biophysique Moléculaire, rue Charles Sadron, 45071 Orléans Cedex 02, France

⁶ Département des Sciences Biologiques, Université du Québec À Montréal, Case Postale 8888, Succursale Centre-Ville, Montreal, Québec, Canada H3C 3P8

⁷ Haereticus Environmental Laboratory, P.O. Box 92, Clifford, VA 24533, USA

⁸ Veneto Agricoltura, Legnaro, PD, Italy

⁹ RSPB Centre for Conservation Science, RSPB, The Lodge, Sandy, Bedfordshire SG19 2DL, UK

¹⁰ Department of Chemistry, University of Cambridge, Lensfield Road, CB2 1EW Cambridge, UK

¹¹ Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse Naturali e Ambiente, Università degli Studi di Padova, Agripolis, viale dell'Università 16, 35020 Legnaro, Padova, Italy

¹² School of Life Sciences, University of Sussex, Brighton BN1 9RH, UK

¹³ Canadian Forest Service, Natural Resources Canada, 1219 Queen Street East, Sault Ste Marie, ON, Canada P6A 2E5

¹⁴ Department of Entomology, Purdue University, West Lafayette, IN 47907-2089, USA

¹⁵ Department of System Ecotoxicology, Helmholtz Centre for Environmental Research - UFZ, 04318 Leipzig, Germany

¹⁶ Healthy Reefs for Healthy People Initiative, Smithsonian Institution, Belize City, Belize

¹⁷ Pierre Mineau Consulting, 124 Creekside Drive, Salt Spring Island V8K 2E4, Canada

¹⁸ Laboratory of Soil Biology, University of Neuchâtel, Rue Emile Argand 11, 2000 Neuchâtel, Switzerland

¹⁹ Jardin Botanique de Neuchâtel, Chemin du Perthuis-du-Sault 58, 2000 Neuchâtel, Switzerland

²⁰ Department of Biology and School of Environment and Sustainability, University of Saskatchewan, 112 Science Place, Saskatoon, SK S7N 5E2, Canada

²¹ Kijani, Kasungu National Park, Private Bag 151, Lilongwe, Malawi

²² Department of Community Ecology, Helmholtz Centre for Environmental Research - UFZ, Theodor-Lieser-Str. 4, 06120 Halle, Germany

²³ iDiv, German Centre for Integrative Biodiversity Research, Halle-Jena-Leipzig, Deutscher Platz 5e, 04103 Leipzig, Germany

²⁴ Beekeeping Research and Information Centre (CARI), Place Croix du Sud 4, 1348 Louvain la Neuve, Belgium

²⁵ Puyallup Research and Extension Centre, Washington State University, Puyallup, WA 98371, USA

²⁶ Dipartimento di Scienze Chimiche, Università degli Studi di Padova, via Marzolo 1, 35131 Padova, Italy

²⁷ Behavioural Ecology and Conservation Group, Biodiversity Research Centre, Université Catholique de Louvain (UCL), Croix du Sud 4-5 bte L7.07.04, 1348 Louvain-la-Neuve, Belgium

²⁸ Scientific Advisor, Hassellstr. 23, 29223 Celle, Germany

²⁹ School of Natural Sciences, University of Stirling, Stirling FK9 4LA, UK

³⁰ Centre for the Study of the Sciences and the Humanities, University of Bergen, Postboks 7805, N-5020 Bergen, Norway

* J.P. van der Sluijs: jeroen@jvds.nl

Introducción

Los efectos colaterales del empleo actual de pesticidas en la naturaleza son poco conocidos, en particular en los niveles más elevados de organización biológica: poblaciones, comunidades y ecosistemas (Köhler and Triebkorn 2013). En este artículo nos centramos en uno de los grupos problemáticos de agroquímicos: los insecticidas sistémicos, que comprenden el fipronil y los neonicotinoides. La creciente dependencia, parcialmente, del uso profiláctico de estos persistentes y potentes insecticidas neurotóxicos sistémicos ha suscitado preocupación acerca de sus impactos en la biodiversidad, el funcionamiento del ecosistema y los servicios ecosistémicos que llevan a cabo una amplia variedad de especies y entornos afectados. La escala de uso actual, combinada con las propiedades de estos compuestos, ha llevado a la contaminación extensa de terrenos agrícolas, fuentes de agua dulce, humedales, vegetación no diana, estuarios y sistemas marinos costeros. Esto significa que muchos de los organismos que viven en estos hábitats están expuestos de forma crónica y repetida a las concentraciones eficaces de dichos insecticidas.

En la actualidad, los neonicotinoides y el fipronil suponen aproximadamente un tercio del mercado mundial de insecticidas (en términos monetarios en 2010) (Simon-Delso et al. 2015). Se utilizan de diversas formas, entre las que se incluyen el recubrimiento de semillas, el baño, las fumigaciones foliares, el empapado del suelo e inyecciones al tronco. Estos compuestos se emplean para controlar las plagas de insectos en centenares de cultivos agrícolas, en horticultura y silvicultura. Asimismo, se usan para el control de insectos nocivos y de vectores infecciosos en animales de compañía, ganado y acuicultura, para el control de plagas urbanas

o domésticas y para preservar la madera (Simon-Delso et al. 2015).

Aunque la autorización comercial de los insecticidas sistémicos se sometió a evaluaciones rutinarias de riesgos ecológicos, el marco regulatorio ha fallado en evaluar los riesgos ecológicos individuales y colectivos que resultan del uso generalizado y simultáneo de múltiples productos con formulaciones diversas y modos de acción muy variados. Su utilización conjunta ocurre en centenares de sistemas de cultivo, incluidos todos los principales productos agrícolas del mundo y en numerosas especies de ganado, animales de compañía, etc. Además, en la evaluación del riesgo ecológico no se consideraron las diversas interacciones con otros factores de estrés medioambiental. Una vez obtenida la autorización de mercado, la autorización impone límites para la dosis y la frecuencia de uso, pero no para la escala total de uso de los ingredientes activos, lo que supone un reducido potencial de recuperación en los ecosistemas afectados. Asimismo, no ha habido una evaluación de la sucesiva exposición típica de los neonicotinoides en las cuencas de los ríos, que resulta en la culminación de la exposición y efectos a lo largo del tiempo (Liess et al. 2013). Tampoco se han tenido en cuenta las posibles interacciones entre los neonicotinoides, el fipronil y los ingredientes activos de otros pesticidas, a pesar de que se ha documentado el efecto aditivo y las sinergias de los mecanismos de toxicidad (Satchivi and Schmitzer 2011; Gewehr 2012; Iwasa et al. 2004).

La Evaluación Mundial Integrada (WIA), publicada en los artículos de este número especial, representa el primer intento de sintetizar el estado de conocimiento acerca de los riesgos para la biodiversidad y el funcionamiento del ecosistema planteados por el uso generalizado a nivel mundial de los neonicotinoides y el fipronil. La WIA se basa

en los resultados de más de 800 artículos de revistas científicas, revisados por homólogos, que se han publicado en las últimas dos décadas. Evaluamos, respectivamente, las tendencias, usos, modo de acción y metabolitos (Simon-Delso et al. 2015); el destino medioambiental y la exposición (Bonmatin et al. 2015); los efectos en invertebrados no diana (Pisa et al. 2015); los efectos directos e indirectos en la fauna de vertebrados (Gibbons et al. 2015); los riesgos para el servicio y funcionamiento del ecosistema (Chagnon et al. 2015) y, finalmente, exploramos prácticas sostenibles de gestión de los pesticidas que puedan servir como alternativa al uso de neonicotinoides y fipronil (Furlan and Kreutzweiser 2015).

Modo de acción, destino medioambiental y exposición

Debido a su naturaleza sistémica, los neonicotinoides y, en menor medida, el fipronil así como varios de sus metabolitos tóxicos, son absorbidos por las raíces o las hojas y translocados a todas las partes de la planta, los cuales, a su vez, hacen que la planta tratada sea tóxica para los insectos que se sabe pueden causar daños en los cultivos. Los neonicotinoides y el fipronil operan interrumpiendo la transmisión neuronal en el sistema nervioso central de los organismos. Los neonicotinoides se adhieren al receptor nicotínico, mientras que el fipronil inhibe el receptor GABA. Ambos pesticidas generan una amplia gama de efectos adversos, que son letales y subletales en invertebrados y también en algunos vertebrados (Gibbons et al. 2015; Simon-Delso et al. 2015). Es de destacar la gran afinidad con que los insecticidas neonicotinoides se adhieren de manera agonística al receptor nicotínico (nAChR), de tal manera que incluso una dosis baja de exposición durante extensos periodos

de tiempo puede culminar en efectos considerables (ver la bibliografía consultada Pisa et al. 2015).

Como resultado de su uso extenso, dichas sustancias se encuentran en todo el entorno medioambiental, incluidos la tierra, el agua y el aire. La contaminación ambiental ocurre a través de varias rutas: el polvo que se genera durante la siembra mecanizada de semillas tratadas; la contaminación y acumulación de concentraciones ambientales tras repetidas aplicaciones en terrenos de cultivo y en aguas del suelo; por la escorrentía en aguas superficiales y subterráneas; la absorción de pesticidas por plantas no diana a través de las raíces y, posteriormente, por translocación al polen, néctar, fluidos de gutación, etc.; las deposiciones de la fumigación sobre las hojas; así como la dispersión de polen contaminado y del néctar de plantas tratadas mediante el viento o los animales. La persistencia en los suelos, vías acuáticas y plantas no diana es variable, pero puede ser larga; por ejemplo, la vida media de los neonicotinoides en el suelo puede superar los 1.000 días. De forma similar, son capaces de permanecer en plantas leñosas durante periodos que exceden 1 año. La descomposición produce metabolitos tóxicos, si bien sus concentraciones en el entorno apenas se miden (Bonmatin et al. 2015).

Esta combinación de persistencia (durante meses o años) y solubilidad en el agua ha llevado a una contaminación a gran escala y a un potencial para acumularse en suelos y sedimentos (entre ppb y ppm), vías acuáticas (aguas subterráneas y superficiales entre ppt y ppb) y vegetación tratada y no tratada (entre ppb y ppm). El chequeo de estas matrices para identificar los pesticidas y sus metabolitos no se ha hecho de manera sistemática o apropiada, ni con la exposición a largo plazo a bajas concentraciones ni con la exposición errática a corto plazo a altas concentraciones.

Sin embargo, allí donde se han analizado muestras ambientales, se ha encontrado que normalmente contenían mezclas de pesticidas, incluidos los neonicotinoides o el fipronil (y sus metabolitos tóxicos). Además, se ha observado que las muestras de aguas subterráneas y superficiales excedían los límites basados en el umbral de protección ecológica establecidos para diferentes países de Norteamérica y Europa. En líneas generales, hay pruebas sólidas de que los suelos, las vías acuáticas y las plantas en entornos agrícolas, urbanos y en áreas de drenaje están contaminados con concentraciones muy variables de mezclas de neonicotinoides o fipronil y de sus metabolitos (Bonmatin et al. 2015).

Este perfil de destino proporciona múltiples rutas para la exposición crónica y aguda de los organismos no diana. Por ejemplo, los polinizadores (incluidas las abejas) están expuestos al contacto directo con el polvo durante el sembrado mecanizado; al consumo de polen, néctar, gotas de la gutación, los nectarios extraflorales y la ligamaza en cultivos de semillas tratadas; al agua; al consumo de polen contaminado y al néctar de flores y árboles silvestres que crecen cerca de los cultivos tratados y en aguas contaminadas. Los estudios de las reservas de miel en colonias de abejas melíferas en una variedad de ecosistemas mundiales demuestran que las colonias están expuestas de forma rutinaria y crónica a los neonicotinoides, al fipronil y sus metabolitos (generalmente de 1 a 100 ppb), a menudo en combinación con otros pesticidas, algunos de los cuales actúan sinérgicamente con los neonicotinoides. Otros organismos no diana, en particular aquellos que viven en el suelo y en hábitats acuáticos, así como los insectos herbívoros que se alimentan de plantas fuera de los terrenos de cultivo, también estarán inevitablemente expuestos. No obstante, no se dispone de datos suficientes sobre la

exposición de estos grupos (Bonmatin et al. 2015).

Impacto en organismos no diana

El impacto de los pesticidas sistémicos en polinizadores tiene particular importancia, como reflejan el amplio número de estudios en esta área. En las abejas, las exposiciones controladas a niveles de campo realistas han demostrado afectar negativamente la navegación individual, el aprendizaje, la recogida de alimento, la longevidad, la resistencia a las enfermedades y la fecundidad. En los abejorros, se han demostrado claramente los efectos a nivel de la colonia, con un crecimiento más lento y un significativo descenso en la producción de reinas en las colonias expuestas (Whitehorn et al. 2012). Los limitados estudios de campo con colonias de abejas en libertad han sido muy inconsistentes y difíciles de llevar a cabo, porque a veces las colonias de control resultan contaminadas de forma invariable con neonicotinoides, o porque falta replicación en el diseño del estudio, lo que demuestra los desafíos para realizar un estudio de esas características en el medio natural (Maxim and Van der Sluijs 2013; Pisa et al. 2015).

Otros grupos de invertebrados han recibido menos atención. Para casi todos los insectos, la toxicidad de estos insecticidas es muy elevada, incluidas muchas especies que son de gran importancia en el control biológico de plagas. La susceptibilidad al efecto tóxico está menos clara con las especies que no son insectos. Para los anélidos como las lombrices, la CL_{50} de muchos neonicotinoides está en el límite más bajo de ppm (LOEC de 10 ppb). Los crustáceos son generalmente menos sensibles, aunque la sensibilidad depende en un alto grado de las especies y la fase de desarrollo. Por ejemplo, las larvas de

los cangrejos azules son un orden de magnitud mas sensibles que los juveniles.

En concentraciones ambientales realistas, los neonicotinoides y el fipronil pueden tener efectos nocivos en la fisiología y la supervivencia de una amplia gama de invertebrados no diana que viven en hábitats terrestres, acuáticos, marinos, bentónicos y en humedales (ver la bibliografía revisada Pisa et al. 2015). Entre los efectos reseñados, predominan los que provienen de ensayos de toxicidad en el laboratorio usando un limitado número de especies. Es típico de tales ensayos examinar únicamente los efectos letales en breves periodos de tiempo (v.gr. ensayos de 48 ó 96 horas), mientras que los efectos subletales de relevancia ecológica como el vuelo afectado, la navegación o la habilidad para buscar alimento son descritos con menor frecuencia. Está claro que muchos de los ensayos usan especies insensibles (v.gr. *Daphnia magna*), y no duran lo suficiente para representar la exposición crónica y, por tanto, carecen de relevancia medioambiental. Los ensayos de laboratorio para establecer umbrales de concentración medioambiental que sean seguros se ven entorpecidos por el hecho de que la mayoría de los ensayos de toxicidad con pesticidas están basados en protocolos antiguos. Aunque esta clase de pesticidas sistémicos posee muchas características novedosas, las metodologías de ensayo han permanecido por lo demás sin variación alguna durante mucho tiempo, generando conclusiones erradas en lo que respecta a la seguridad ecológica (Maxim and Van der Sluijs 2013). Se necesitan nuevas y mejores metodologías para analizar específicamente los perfiles toxicológicos únicos de los compuestos químicos, que incluyan los posibles efectos letales acumulativos y retardados, y los efectos no letales, para una variedad de organismos terrestres, acuáticos y marinos. No obstante, nuestro estudio muestra un creciente número

de pruebas publicadas en las que se afirma que estos insecticidas sistémicos suponen un serio riesgo de daño para una amplia gama de taxones de invertebrados no diana, con frecuencia por debajo de las concentraciones medioambientales esperadas. Como resultado, es de esperar impactos en las muchas cadenas alimenticias que sustentan.

Hemos revisado unos 150 estudios de los efectos directos (tóxicos) e indirectos (v.gr. la cadena alimenticia) del fipronil y los neonicotinoides imidacloprid y clotianidin en vertebrados silvestres: mamíferos, aves, peces, anfibios y reptiles. En general, en escenarios de exposición a concentraciones relevantes en campos sembrados con semillas tratadas, imidacloprid y clotianidin suponen un riesgo para las aves pequeñas; la ingestión incluso de unas pocas semillas tratadas puede causar la muerte o perjudicar la reproducción en especies de aves sensibles (ver los estudios realizados Gibbons et al. 2015). Algunas de las concentraciones medioambientales de fipronil han sido lo suficientemente elevadas como para dañar potencialmente a los peces (Gibbons et al. 2015). Los tres insecticidas tienen efectos subletales, yendo desde los efectos genotóxicos y citotóxicos hasta un trastorno de la función inmunitaria, un menor crecimiento o una disminución del éxito reproductivo. Recientemente se ha descrito una prueba concluyente de que los neonicotinoides alteran la respuesta inmune a nivel molecular, permitiendo de este modo daños por enfermedades encubiertas y parásitos (Di Prisco et al. 2013). Todos estos efectos ocurren a menudo con concentraciones muy por debajo de las asociadas directamente con la mortalidad (Gibbons et al. 2015). Es una tendencia recogida en la bibliografía examinada de muchos taxones: la supervivencia a corto plazo no es un indicador ni de la mortalidad medida a largo plazo ni de una alteración de

las funciones y servicios del ecosistema llevados a cabo por los organismos afectados.

Con excepción de los casos más extremos, las concentraciones de imidacloprid y clotianidín a las que están expuestos los peces y anfibios parecen estar muy por debajo del umbral para causar la muerte, aunque los efectos subletales no han sido suficientemente estudiados. Pese a la escasa investigación, y la dificultad de asignar causalidades, los efectos indirectos pueden ser tan importantes como los efectos tóxicos directos en vertebrados y posiblemente más importantes. Los neonicotinoides y el fipronil son considerablemente más eficaces matando a las presas invertebradas de los vertebrados que a los propios vertebrados. En los procesos de evaluación de riesgos es raro considerar los efectos indirectos, por lo que hay escasez de datos, a pesar del potencial para generar dichos efectos al nivel de las poblaciones. Entre la bibliografía examinada se encontraron dos estudios de campo sobre efectos indirectos. En uno de ellos las reducciones de presas invertebradas, tanto por el uso de imidacloprid como de fipronil, perjudicó el crecimiento en una especie de peces y, en el otro, las reducidas poblaciones de dos especies de lagartos estaba relacionada con los efectos del fipronil en termitas presa (ver los estudios analizados Gibbons et al. 2015).

Impactos sobre el funcionamiento y los servicios del ecosistema

El concepto de servicios ecosistémicos se usa ampliamente en la toma de decisiones en el contexto de valorar los potenciales del servicio, los beneficios y valores de uso que los ecosistemas que funcionan bien proporcionan a los humanos y a la biosfera (e.g. Spangenberg et al. 2014), y como medida a valorar (valor que hay que proteger)

en evaluaciones de riesgo ecológico de productos químicos. Los insecticidas neonicotinoides y el fipronil se detectan con frecuencia en el entorno (suelo, agua y aire) en lugares donde no hay o no es de esperar ningún beneficio de la gestión de plagas. Sin embargo, estos entornos proporcionan recursos esenciales para sustentar la biodiversidad y se sabe que están amenazados por una repetida contaminación a largo plazo. La bibliografía sintetizada en esta evaluación integrada demuestra la biodisponibilidad a gran escala de estos insecticidas en el medio ambiente mundial a niveles que se sabe causan efectos letales y subletales en una amplia gama de microorganismos terrestres (incluido el suelo) y acuáticos, invertebrados y vertebrados. Se ha demostrado que los impactos a nivel poblacional de las concentraciones ambientales observadas en el campo son probables en los grupos de insectos polinizadores, los invertebrados terrestres y acuáticos. Existe un creciente número de pruebas de que dichos efectos suponen un riesgo para el funcionamiento del ecosistema, la resistencia, los servicios y las funciones proporcionadas por los ecosistemas terrestres y acuáticos. Tales servicios y funciones pueden ser: proporcionar, regular, cultivar o sustentar; e incluyen, entre otros, la formación y la calidad del suelo, el ciclo de nutrientes, el tratamiento y remediación de desechos, la polinización, el sustento de la cadena alimenticia, la purificación del agua, la regulación de plagas y enfermedades, la dispersión de semillas, el control de herbívoros y malas hierbas, la provisión de alimento (peces incluidos), la estética y la recreación.

Lagunas de conocimiento

Esta evaluación está basada en un creciente número de pruebas publicadas, pero aún

existen algunas lagunas de conocimiento. Estos compuestos se han sometido a las normativas de seguridad en varios países. Sin embargo, siguen desconociéndose varios riesgos potenciales asociados con la actual escala de uso global. Destacamos aquí las lagunas de conocimiento existentes.

- En la mayoría de los países hay muy pocas, o ninguna, fuentes de datos disponibles al público sobre las cantidades aplicadas de pesticidas sistémicos y los lugares donde se utilizan. Los datos fiables de cantidades empleadas son una condición necesaria para las evaluaciones realistas de impactos ecológicos.
- El chequeo de los residuos de neonicotinoides y fipronil en el medio ambiente (suelos, agua, tejidos de cultivos, vegetación no diana, sedimentos, plantas ribereñas, aguas y sedimentos costeros) es extremadamente limitado. Aunque su solubilidad en el agua y propensión al movimiento son conocidas, los datos que existen acerca de sistemas marinos son muy escasos.
- Una laguna aún más amplia es el destino medioambiental de los muchos metabolitos ecotóxicos y persistentes de los neonicotinoides y el fipronil. Por lo tanto, no podemos evaluar con precisión la probable exposición conjunta de la gran mayoría de organismos.
- Hay poco conocimiento acerca del destino medioambiental de estos compuestos y de cómo, por ejemplo, las propiedades del suelo afectan a la persistencia, o si se acumulan en plantas leñosas (generalmente angiospermas) después de repetidos tratamientos con el producto original. El comportamiento de productos de degradación (que pueden ser muy tóxicos y persistentes) en diferentes medios (plantas, suelos, sedimentos, agua,

cadena alimenticias, etc.) sólo se conoce superficialmente.

- Aún no se ha investigado la toxicidad a largo plazo para los organismos más susceptibles. A modo de ejemplo, los ensayos de toxicidad se han realizado únicamente en cuatro de las aproximadas 25.000 especies de abejas conocidas mundialmente y hay muy pocos estudios de toxicidad para otros grupos polinizadores tales como los sírfidos, las mariposas y las polillas. De modo similar, los organismos del suelo (aparte de las lombrices) también han recibido poca atención. Los organismos del suelo desempeñan múltiples papeles en la formación del suelo y el mantenimiento de la fertilidad de este. La toxicidad para los vertebrados (tales como los mamíferos y aves granívoras que pueden consumir semillas tratadas) sólo se ha examinado en un puñado de especies.
- Los estudios toxicológicos realizados se centran predominantemente en ensayos de la toxicidad aguda, mientras que los efectos a largo plazo y la exposición crónica y aguda son menos conocidos, pese a ser el escenario más relevante para todos los organismos en los entornos agrícolas y acuáticos. Tampoco se han estudiado las consecuencias a largo plazo de la exposición bajo condiciones ambientales realistas.
- Todos los neonicotinoides se adhieren a los mismos nAChRs en el sistema nervioso, de manera que se puede esperar una toxicidad acumulativa. En la actualidad, no se han realizado estudios sobre los efectos aditivos o sinérgicos de la exposición simultánea a múltiples componentes de la familia de los neonicotinoides, v.gr. imidacloprid, clotianidin, tiametoxam, dinotefuran, thiacloprid, acetamiprid, sulfoxaflor,

nitenpyram, imidaclothiz, paichongding y cycloxaprid, en una dosis agregada de, por ejemplo, «equivalentes del imidacloprid». Actualmente, las evaluaciones de riesgos se realizan separadamente para cada compuesto químico, mientras que muchas especies no diana, como los polinizadores, están expuestos simultáneamente a varios neonicotinoides, así como a otros pesticidas y factores de estrés. En consecuencia, los riesgos se han subestimado de forma sistemática. Mientras que cuantificar los pesticidas que ocurren conjuntamente es un problema intratable, una medición única que incorpore la exposición de taxones representativos a todos los neonicotinoides sería un punto de partida de gran valor.

- La toxicidad acumulativa por exposición sucesiva y simultánea no ha sido estudiada en la evaluación de las normativas ni en la gestión de riesgos químicos.
- En la mayoría de los organismos no se han estudiado los efectos subletales, que suelen tener consecuencias letales en un escenario ambiental real. Sin embargo, se sabe que los efectos son profundos en las abejas y, en las otras pocas especies en las que se han realizado estudios, se ha comprobado que las dosis subletales de estos compuestos neurotóxicos tienen impactos adversos sobre el comportamiento con dosis muy por debajo de las que causan la muerte inmediata.
- Las interacciones entre insecticidas sistémicos y otros factores de estrés, como otros pesticidas, enfermedades y estrés alimentario, sólo se han explorado en unos pocos estudios (en abejas), y dichos estudios han revelado importantes efectos sinérgicos. Por ejemplo, en las abejas, dosis pequeñas de neonicotinoides

aumentan enormemente la susceptibilidad a enfermedades virales. Las interacciones entre los insecticidas sistémicos y otros factores de estrés en organismos distintos de las abejas apenas se han estudiado. En situaciones de campo, los organismos estarán casi invariablemente expuestos de manera simultánea tanto a múltiples pesticidas como a otros factores de estrés, por lo que nuestra falta por entender las consecuencias de esas interacciones (o incluso por diseñar medios apropiados para llevar a cabo futuros estudios en esta área) es una laguna importante.

- Los impactos de estos insecticidas sistémicos en la provisión de una amplia gama de servicios ecosistémicos siguen siendo inciertos. La acumulación en el suelo y los sedimentos podría llevarnos a predecir los impactos en la fauna edáfica, como las lombrices y los colémbolos, los cuales a su vez pueden tener consecuencias para la salud del suelo, su estructura y permeabilidad y el ciclo de nutrientes. La contaminación de la vegetación marginal del campo, a través del polvo y de aguas superficiales o subterráneas, podría llevarnos a esperar impactos en la fauna de valor estético (v.gr. las mariposas) y posiblemente a impactar poblaciones de insectos beneficiosos que proporcionan un servicio de polinización o de control de plagas (v.gr. sírfidos y escarabajos predadores). La disminución general de las poblaciones de insectos acuáticos y terrestres es probable que impacte en especies insectívoras como las aves y los murciélagos. Hipotéticamente, la contaminación de aguas dulces reduce el alimento de invertebrados para los peces y por eso afecta a la industria pesquera. Lo mismo puede aplicarse a sistemas costeros marinos, lo que supone potencialmente una amenaza seria para las barreras de

coral, las marismas y los estuarios. No se han investigado ninguno de estos escenarios.

- Los beneficios agronómicos a corto y largo plazo proporcionados por los neonicotinoides y el fipronil no están claros. Dado el ritmo de empleo, sorprende el pequeño número de estudios publicados para evaluar los beneficios de rendimiento y rentabilidad económica de las cosechas; algunos estudios recientes (ver Furlan and Kreutzweiser 2015) sugieren que su uso no proporciona ganancias netas, sino más bien pérdidas económicas netas en algunos cultivos. Se desconoce en la actualidad cuál sería el impacto en el cultivo si estos pesticidas sistémicos no se aplicaran o se aplicaran en menor medida (aunque su reciente retirada parcial en la UE proporciona una oportunidad para examinarlo).

Dadas estas lagunas de conocimiento, es imposible evaluar correctamente el alcance total de los riesgos asociados con el continuo uso de insecticidas sistémicos, pero la evidencia analizada en esta publicación especial sugiere que, mientras que los riesgos afectan a muchos taxones, aún no han demostrado claramente beneficios en los sistemas de cultivo donde estos compuestos se usan de forma más intensa.

Conclusiones

En términos generales, la bibliografía existente pone en evidencia que los niveles actuales de contaminación por neonicotinoides y fipronil a causa de sus usos autorizados (esto es, siguiendo las indicaciones de las etiquetas y aplicando los productos como está dispuesto) exceden frecuentemente las concentraciones mínimas para producir efectos nocivos en un amplio abanico de especies no diana, y por eso es

posible que tengan diversos impactos biológicos y ecológicos negativos. Se prevé que la combinación del uso profiláctico, la persistencia, la movilidad, las propiedades sistémicas y la toxicidad crónica tendrán como resultado impactos considerables en la biodiversidad y el funcionamiento del ecosistema. El conjunto de pruebas analizadas en esta Evaluación Mundial Integrada indica que la actual escala de uso de los neonicotinoides y el fipronil no constituye un control de plagas sostenible y compromete las acciones de numerosas partes interesadas por mantener y sustentar la biodiversidad y, por consiguiente, las funciones ecológicas y servicios que realizan los diversos organismos.

En las instalaciones agrícolas modernas queda cada vez más claro que los tratamientos con insecticidas neonicotinoides y fipronil – y en particular sus aplicaciones profilácticas – son incompatibles con la actitud original que condujo al desarrollo de los principios del Manejo Integral de Plagas (MIP). Aunque el enfoque del MIP siempre ha incluido insecticidas entre sus herramientas, hay otros enfoques que se pueden incorporar de manera eficaz, dejando a los productos químicos como un último recurso en la cadena de opciones preferidas que han de aplicarse. Téngase en cuenta que la actual práctica del tratamiento de semillas es lo opuesto: considera los productos químicos como la primera opción en lugar del último recurso. Las opciones preferidas incluyen los cultivos orgánicos, la diversificación y alternancia de cultivos en rotación, el cultivo en intercolumnas, la temporada de siembra adecuada, la labranza y el riego, el uso de especies de cultivo menos sensibles en áreas infectadas, el uso de cultivos trampa, la aplicación de agentes de control biológico y el uso selectivo de insecticidas alternativos de riesgo reducido. Debido a la naturaleza sistémica y persistente del fipronil y los

neonicotinoides (más los efectos heredados y la carga medioambiental que conllevan esas propiedades), estos compuestos son incompatibles con el MIP. Aceptamos que los enfoques del MIP son imperfectos y se están mejorando constantemente. No obstante, hay una base de conocimientos rica e historias exitosas para trabajar en muchos sistemas en donde se requiere control de plagas. De hecho, en Europa, el enfoque del MIP, de acuerdo con la Directiva 2009/128/EC, es obligatorio para todos los cultivos desde el 1 de enero de 2014, pero muchos estados miembros aún necesitan introducir y hacer operativa esta nueva normativa, ya que el MIP está a veces poco definido.

Recomendaciones

Los autores sugieren que las agencias reguladoras consideren la aplicación de los principios de prevención y precaución para ajustar las normativas sobre los neonicotinoides y el fipronil, y consideren formular planes para reducir de modo considerable la escala global de su uso. La continua investigación de alternativas está garantizada, pero es igualmente apremiante la necesidad de educar a los agricultores y otros profesionales, así como de promover políticas y normativas que fomenten la adopción de estrategias agrícolas alternativas para gestionar las plagas (v.gr. el MIP, la agricultura orgánica, etc.). Además, es necesario investigar para llegar a comprender mejor las barreras institucionales y otras que obstaculizan la adopción a gran escala de prácticas agrícolas sostenibles que pueden servir de alternativa al uso de neonicotinoides y fipronil, así como el de muchos otros pesticidas.

Ha de estudiarse cuidadosamente la adecuación del proceso regulatorio para la aprobación de los pesticidas en muchos países

y reconocer los errores del pasado. Por ejemplo, otros insecticidas, como el organoclorado DDT, fueron utilizados en todo el mundo antes de que se reconociera su persistencia, su bioacumulación y los efectos perturbadores sobre el funcionamiento del ecosistema, y acabaron prohibiéndose en la mayoría de los países. Muchos de los organofosfatos se han retirado debido a que se comprendió, tardíamente, que suponían grandes riesgos para la salud humana y para la naturaleza. Los insecticidas sistémicos, neonicotinoides y fipronil, representan un nuevo capítulo en las deficiencias patentes de la normativa de revisión de pesticidas y del proceso de aprobación, que no consideran todos los riesgos que supone la aplicación a gran escala de insecticidas de amplio espectro.

Agradecimientos

Este manuscrito fue objeto de debate en el Comité Internacional sobre Pesticidas Sistémicos durante sus sesiones plenarias en París (2010), Bath (2011), Cambridge (2012), Montegrotto, Padua (2012), Louvain-la-Neuve (2013) y Legnaro, Padua (2013). Los autores aparecen mencionados por orden alfabético, excepto el primero, que es también el autor correspondiente. Todos los autores trabajan para organizaciones públicas o universidades, excepto V. Amaral-Rogers que trabaja para Buglife, una organización caritativa de Reino Unido dedicada a la conservación de los invertebrados; D. W. Gibbons, que trabaja para la RSPB, una organización caritativa de conservación de la naturaleza de Reino Unido; D. A. Noome, cuyo trabajo independiente para el Comité TFSP está financiado por la fundación Stichting Triodos Foundation y N. Simon-Delso, que trabaja para CARI (asociación

respaldada por el gobierno de Bélgica). Las contribuciones de J. Settele y M. Wiemers forman parte del proyecto LEGATO: www.legato-project.net (fundado por el BMBF, Ministerio de Educación e Investigación alemán). Los fondos de este trabajo proceden del Fondo de Apoyo de la Fundación Triodos para la investigación independiente sobre el declive de las abejas y los pesticidas sistémicos. Este fondo se ha creado a través de las donaciones de la Fundación Adessium (Países Bajos), Act Beyond Trust (Japón), la Universidad de Utrecht (Países Bajos), la Fundación Stichting Triodos (Países Bajos), Gesellschaft fuer Schmetterlingsschutz (Alemania), M.A.O.C. Gravin van Bylandt Stichting (Países Bajos), Zukunft Stiftung Landwirtschaft (Alemania), Study Association Storm (Asociación de estudiantes de Ciencias Medioambientales de la Universidad de Utrecht), Deutscher Berufs- und Erwerbssimkerbund e. V. (Alemania), Gemeinschaft der europäischen Buckfastimker e. V. (Alemania) y los ciudadanos. Dichos organismos fundadores no han participado en el diseño, la recogida y el análisis de datos, ni tampoco en la decisión de preparar y publicar el manuscrito.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses.

Libre acceso

Este artículo se ha distribuido conforme a las condiciones del *Creative Commons Attribution License*, las cuales permiten cualquier uso, distribución y reproducción en cualquier medio, en tanto se cite el nombre de los autor/autor(es) principal(es) y la fuente.

Referencias

- Bonmatin J-M, Giorio C, Girolami V, Goulson D, Kreutzweiser D, Krupke C, Liess M, Long E, Marzaro M, Mitchell E, Noome D, Simon-Delso N, Tapparo A (2014) Environmental fate and exposure; neonicotinoids and fipronil. *Environ Sci Pollut Res.* doi:[10.1007/s11356-014-3332-7](https://doi.org/10.1007/s11356-014-3332-7)
- Chagnon M, Kreutzweiser DP, Mitchell EAD, Morrissey CA, Noome DA, van der Sluijs JP (2014) Risks of large scale use of systemic insecticides to ecosystem functioning and services. *Environ Sci Pollut Res.* doi:[10.1007/s11356-014-3277-x](https://doi.org/10.1007/s11356-014-3277-x)
- Di Prisco G, Cavaliere V, Annoscia D, Varricchio P, Caprio E, Nazzi F, Gargiulo G, Pennacchio F (2013) Neonicotinoid clothianidin adversely affects insect immunity and promotes replication of a viral pathogen in honey bees. *Proc Natl Acad Sci USA* 110:18466–18471. doi:[10.1073/pnas.1314923110](https://doi.org/10.1073/pnas.1314923110)
- Furlan L and Kreutzweiser DP (2014) Alternatives to neonicotinoid insecticides for pest control: case studies in agriculture and forestry. *Environ Sci Pollut Res.* doi:[10.1007/s11356-014-3628-7](https://doi.org/10.1007/s11356-014-3628-7)
- Gewehr M (2012) Pesticidal mixtures. *Eur Patent EP 2 481 284 A2*
- Gibbons D, Morrissey C and Mineau P (2014) A review of the direct and indirect effects of neonicotinoids and fipronil on vertebrate wildlife. *Environ Sci Pollut Res.* doi:[10.1007/s11356-014-3180-5](https://doi.org/10.1007/s11356-014-3180-5)
- Iwasa T, Motoyama N, Ambrose JT, Roe RM (2004) Mechanism for the differential toxicity of neonicotinoid insecticides in the honey bee, *Apis mellifera*. *Crop Prot* 23:371–378. doi:[10.1016/j.cropro.2003.08.018](https://doi.org/10.1016/j.cropro.2003.08.018)
- Köhler H-R, Triebkorn R (2013) Wildlife ecotoxicology of pesticides: can we track effects to the population level and beyond? *Science* 341:759–765. doi:[10.1126/science.1237591](https://doi.org/10.1126/science.1237591)

- Liess M, Foit K, Becker A, Hassold E, Dolciotti I, Kattwinkel M, Duquesne S (2013) Culmination of low-dose pesticide effects. *Environ Sci Technol* 47:8862–8868
- Maxim L, Van der Sluijs JP (2013) Seed-dressing systemic insecticides and honeybees. Chapter 16, pp. 401–438. In: European Environment Agency (ed) Late lessons from early warnings: science, precaution, innovation. European Environment Agency (EEA) report 1/2013, Copenhagen
- Pisa L, Amaral-Rogers V, Belzunces LP, Bonmatin J-M, Downs C, Goulson D, Kreutzweiser D, Krupke C, Liess M, McField M, Morrissey C, Noome DA, Settele J, Simon-Delso N, Stark J, van der Sluijs, van Dyck H, Wiemers M (2014) Effects of neonicotinoids and fipronil on non-target invertebrates. *Environ Sci Pollut Res*. doi:10.1007/s11356-014-3471-x
- Satchivi NM, Schmitzer PR (2011) Synergistic herbicide/insecticide composition containing certain pyridine carboxylic acids and certain insecticides. US Patent US 2011/0207606
- Simon-Delso N, Amaral-Rogers V, Belzunces LP, Bonmatin JM, Chagnon M, Downs C, Furlan L, Gibbons DW, Giorio C, Girolami V, Goulson D, Kreutzweiser DP, Krupke C, Liess M, Long E, McField M, Mineau P, Mitchell EAD, Morrissey CA, Noome DA, Pisa L, Settele J, Stark JD, Tapparo A, van Dyck H, van Praagh J, van der Sluijs JP, Whitehorn PR and Wiemers M (2014) Systemic insecticides (neonicotinoids and fipronil): trends, uses, mode of action and metabolites. *Environ Sci Pollut Res*. doi:10.1007/s11356-014-3470-y
- Spangenberg JH, Görg C, Thanh Truong D, Tekken V, Bustamante JV, Settele J (2014) Provision of ecosystem services is determined by human agency, not ecosystem functions. Four case studies. *Int J Biodivers Sci Ecosyst Serv Manag* 10:40–53
- Whitehorn PR, O'Connor S, Wackers FL, Goulson D (2012) Neonicotinoid pesticide reduces bumble bee colony growth and queen production. *Science* 336:351–352

Este artículo fue publicado originalmente en la revista [Springer](#), «[Environmental Science and Pollution Research](#)» como:

“[Van der Sluijs, J.P., Amaral-Rogers, V., Belzunces, L.P., Bijleveld van Lexmond, M.F.I.J., Bonmatin, J-M., Chagnon, M., Downs, C.A., Furlan, L., Gibbons, D.W., Giorio, C., Girolami, V., Goulson, D., Kreutzweiser, D.P., Krupke, C., Liess, M., Long, E., McField, M., Mineau, P., Mitchell, E.A.D., Morrissey, C.A., Noome, D.A., Pisa, L., Settele, J., Simon-Delso, N., Stark, J.D., Tapparo, A., Van Dyck, H., van Praagh, J., Whitehorn, P.R., Wiemers, M. \(2015\). «Conclusions of the Worldwide Integrated Assessment on the risks of neonicotinoids and fipronil to biodiversity and ecosystem functioning». «Environmental Science and Pollution Research», 22, 148-154.](#)”

Traducción al español por *Isabel Zapata* y revisión por *Alejandro González López* dentro de la iniciativa PerMondo. Proyecto apoyado y gestionado por la agencia de traducción Mondo Agit.

PERMONDO
Translations for non-profit

