



## **Avaluació dels impactes del fipronil en els himenòpters pol·linitzadors**

---

Estudiant: Inés Bullich Royo

Correu electrònic: inesbullich@hotmail.com

Grau en Biologia

Tutor: Núria Roura Pascual

Correu electrònic: nuria.rourapascual@udg.edu

Data de dipòsit de la memòria a través de la plataforma de TFG: 4 de juliol del 2023

## ÍNDEX

1. RESUM .....	3
2. RESUMEN .....	4
3. ABSTRACT .....	5
4. REFLEXIONS SOBRE ÈTICA, SOSTENIBILITAT I PERSPECTIVA DE GÈNERE .....	6
5. INTRODUCCIÓ .....	7
6. OBJECTIVES .....	10
7. METODOLOGIA .....	11
7.1 Anàlisi bibliomètric .....	11
7.2 Anàlisi dels efectes provocats pel fipronil .....	12
7.3 Divulgació .....	13
8. RESULTATS .....	13
8.1 Anàlisi bibliomètric .....	13
8.2 Anàlisi dels efectes provocats pel fipronil .....	17
8.3 Divulgació .....	18
9. DISCUSSIÓ .....	20
9.1 Anàlisi bibliomètric .....	20
9.2 Anàlisi dels efectes provocats pel fipronil .....	21
9.3 Divulgació .....	23
10. CONCLUSIONS .....	23
11. BIBLIOGRAFIA .....	24

## 1. RESUM

En els darrers anys s'ha vist una davallada important en les poblacions d'himenòpters pol·linitzadors a nivell mundial. Aquests són essencials per la biodiversitat del planeta, l'estabilitat dels ecosistemes naturals i la seguretat alimentària, però també tenen una gran importància econòmica. Tot i això, es veuen exposats a factors d'estrès que poden fer perillar el seu bon desenvolupament i la seva salut. Els principals responsables són la pèrdua dels hàbitats, el canvi climàtic, les invasions biològiques i l'ús de productes fitosanitaris, que ha anat en augment des dels anys 1990.

Un dels insecticides més utilitzats és el fipronil. És un insecticida d'ampli espectre que s'utilitza per controlar plagues, però acaba afectant organismes no objectiu. Degut a la seva naturalesa neurotòxica és molt nociu. És per això que el seu ús s'ha vist restringit a nivell de la Unió Europea.

L'objectiu de l'estudi és avaluar l'impacte del fipronil als himenòpters pol·linitzadors, i que els resultats es puguin utilitzar com a document de consulta per a apicultors, agricultors i autoritats relacionades amb els usos dels productes fitosanitaris, per així poder crear consciència dels efectes que pot causar aquest producte als organismes no objectius i se'n faci un ús adequat.

És per això, que es durà a terme una revisió bibliogràfica. Tota la informació s'ha buscat en la base de dades Web of Science en data de febrer del 2023. La cerca es va dur a terme utilitzant "fipronil and (bee OR bees OR hornet\* OR wasp\* OR pollinator\*)". Es van trobar 296 articles, però finalment només 127 tracten sobre himenòpters pol·linitzadors, que seran els que finalment seran estudiats. La majoria dels articles seleccionats estudien els impactes del fipronil en individus adults de diferents himenòpters pol·linitzadors, majoritàriament de l'abella de la mel (*Apis mellifera*). També es comparen aquests efectes amb tres dels neonicotinoides més utilitzats, com són l'imidacloprid, el tiametoxam i el clothianidin.

Els resultats mostren que el fipronil és responsable de la mort d'un gran número d'espècies d'himenòpters pol·linitzadors, però també s'ha vist que provoca efectes subletals molt variats, com alteracions morfològiques, alteracions en l'activitat motora, canvis en l'activitat enzimàtica, en les funcions cognitives, en la fertilitat i la longevitat, entre d'altres.

## 2. RESUMEN

En los últimos años se ha visto un descenso importante en las poblaciones de himenópteros polinizadores a nivel mundial. Éstos son esenciales para la biodiversidad del planeta, la estabilidad de los ecosistemas naturales y la seguridad alimentaria, pero también tienen una gran importancia económica. Sin embargo, se ven expuestos a factores de estrés que pueden hacer peligrar su buen desarrollo y su salud. Los principales responsables son la pérdida de los hábitats, el cambio climático, las invasiones biológicas y el uso de productos fitosanitarios, que ha ido en aumento desde los años 1990.

Uno de los insecticidas más utilizados es el fipronil. Es un insecticida de ancho espectro que se utiliza para controlar plagas, pero acaba afectando a organismos no objetivo. Debido a su naturaleza neurotóxica es muy dañino. Por eso su uso se ha visto restringido a nivel de la Unión Europea.

El objetivo del estudio es evaluar el impacto del fipronil en los polinizadores, y que en futuro pueda tener un objetivo divulgativo para los agricultores, apicultores y autoridades competentes. Así, podría ayudar a crear conciencia de los efectos que puede causar este producto a los organismos no objetivos y se haga un uso adecuado.

Por ello, se lleva a cabo una revisión bibliográfica. Toda la información se ha buscado en la base de datos Web of Science a fecha de febrero de 2023. La búsqueda se realizó utilizando “fipronil and (bee OR bees OR hornet\* OR wasp\* OR pollinator\*)”. Se hallaron 296 artículos, pero finalmente sólo 127 tratan sobre himenópteros polinizadores, que serán los que finalmente serán estudiados. La mayoría de los artículos seleccionados estudian los impactos del fipronil en individuos adultos de distintos himenópteros polinizadores, mayoritariamente de la abeja de la miel (*Apis mellifera*). También se comparan estos efectos con tres de los neonicotinoides más utilizados, como imidacloprid, tiametoxam y clothianidin.

Los resultados muestran que el fipronil es responsable de la muerte de un gran número de himenópteros polinizadores, pero también se ha visto que provoca efectos subletales muy variados, como alteraciones morfológicas, alteraciones en la actividad motora, cambios en la actividad enzimática, en las funciones cognitivas, en la fertilidad y la longevidad, entre otros.

### 3. ABSTRACT

Recent years have seen a significant decline on flying pollinator populations worldwide. These are essential for the planet's biodiversity, the stability of natural ecosystems and food security, but they are also of great economic importance. However, they are exposed to stress factors that can endanger their good development and health. The main culprits are habitat loss, climate change, biological invasions and the use of plant protection products, which has been increasing since the 1990s.

One of the most commonly used insecticides is fipronil. It is a broad spectrum insecticide which is used to control pests, but ultimately affects non-target organisms. Because of its neurotoxic nature it is very harmful. That is why its use has been restricted at European Union level.

The objective of the study is to assess the impact of fipronil on flying pollinators of the order Hymenoptera, and that the results can be used as a consultation document for beekeepers, farmers and authorities related to the uses of plant protection products, to create awareness of the effects that this product can cause on non-target organisms and make appropriate use.

For this reason, a bibliographic review is carried out. All information has been searched in the Web of Science database as of February 2023. The search was performed using "fipronil and (bee OR bees OR hornet\* OR wasp\* OR pollinator\*)". 296 articles were found, but finally only 127 deal with flying pollinators of the order Hymenoptera, which will be the ones that will finally be studied. Most of the selected articles study the impacts of fipronil on adult individuals of different pollinators, mostly honeybee (*Apis mellifera*). These effects are also compared with three of the most commonly used neonicotinoids, such as imidacloprid, thiamethoxam, and clothianidin.

The results show that fipronil is responsible for the death of a large number of flying pollinators, but it has also been found to cause very varied sublethal effects, such as morphological alterations, alterations in motor activity, changes in enzyme activity, cognitive functions, fertility and longevity, among others.

## 4. REFLEXIONS

### *REFLEXIÓ SOBRE ÈTICA*

A l'hora de realitzar aquesta revisió bibliogràfica s'han considerat els drets d'autor de tots els estudis i imatges utilitzades. S'han realitzat totes les cites oportunes i s'ha reflectit a la bibliografia del treball per evitar caure en el plagi i l'apropiació d'idees, i així, atorgar a cada autor el mèrit que es mereix per la seva feina realitzada. L'objectiu és analitzar l'impacte del fipronil en els himenòpters pol·linitzadors. És per això, que cal destacar la importància d'abordar els conflictes d'interessos que poden sorgir en relació al seu ús. És fonamental assegurar que les decisions polítiques i reguladores no estiguin influenciades per les pressions de l'agroindústria i altres actors amb interessos econòmics en la comercialització dels pesticides.

### *REFLEXIÓ SOBRE SOSTENIBILITAT*

L'ús del fipronil pot conduir a una contaminació dels sòls i de l'aigua, i amenaça la biodiversitat. A més, pot afectar negativament els himenòpters pol·linitzadors. Cal promoure pràctiques agrícoles sostenibles, com l'agricultura ecològica, que utilitza mètodes de control de plagues naturals i promou l'equilibri ecològic. Aquest estudi podria anar lligat als Objectius de desenvolupament sostenible (ODS), més precisament al 12è objectiu, "Garantir modalitats de consum i producció sostenibles", així com el 15è, "Protegir, restaurar i promoure l'ús sostenible dels ecosistemes terrestres". A l'hora de realitzar aquest estudi s'han tingut molt present les pràctiques sostenibles durant tota la realització de l'estudi. S'ha elaborat totalment de forma digital evitant malgastar recursos innecessàriament, tenint en compte el possible impacte ambiental.

### *REFLEXIÓ SOBRE PERSPECTIVA DE GÈNERE*

Històricament, hi ha hagut una menor representació de dones en les disciplines científiques. Tot i que han avançat en l'educació superior i la participació en les ciències biològiques, encara s'enfronten a barreres que dificulten la seva progressió professional. S'ha demostrat que les dones estan menys representades en posicions de lideratge i en rols d'investigació d'alt nivell. També existeixen bretxes salarials i menys oportunitats de finançament per a projectes de recerca. És fonamental fomentar l'accés de les dones a la formació i als càrrecs de responsabilitat. Això implica trencar les barreres invisibles que poden existir, promovent el respecte i la diversitat. Finalment, és important fomentar la participació de les dones en l'educació i la divulgació científica. Això pot contribuir a la superació de les desigualtats de gènere a llarg termini.

## 5. INTRODUCCIÓ

En els últims anys s'ha vist una pèrdua en les poblacions de himenòpters pol·linitzadors. Un dels grups més importants són les abelles, així com els membres de la superfamília *Apoidea*, amb més de vint mil espècies, però papallones, vespes, mosques, arnes i escarabats també són pol·linitzadors molt eficients (Garibaldi *et al.*, 2012). Aquests són essencials per la biodiversitat, el que amenaça la seguretat alimentària i l'estabilitat dels ecosistemes naturals (Tsvetkov *et al.*, 2021). La pol·linització és un servei de regulació dels ecosistemes molt important per la natura, l'agricultura i el benestar humà. Gairebé el 90% de les plantes amb flor depenen d'aquests pol·linitzadors per assegurar la seva reproducció sexual. Són essencials, ja que la pol·linització és fonamental per l'agricultura i per tant per l'alimentació de les poblacions humanes. Però també tenen una gran importància econòmica, ja que el 75% de les principals plantes conreades a escala mundial necessiten els insectes per garantir la quantitat, la qualitat i l'estabilitat de les collites (Bosch *et al.*, 2022).

Tot i això, aquests estan exposats crònicament a factors d'estrès (Bailo, 2019), tant biòtics com abiòtics (Castilhos *et al.*, 2019). Un factor important de la disminució dels himenòpters pol·linitzadors és la fragmentació dels hàbitats, el que suposa la disminució i el trencament de la continuïtat dels hàbitats. Aquesta pot ser deguda per la intensificació agrícola o la urbanització (Bosch *et al.*, 2022).

Des de les dècades dels 50-60, l'agricultura té com a objectiu augmentar la producció gràcies a noves pràctiques i tecnologies. El conjunt de canvis implementats ha donat lloc a la intensificació agrícola que es caracteritza per aprofitar intensivament el territori, augmentant els monocultius i l'ús de fertilitzants i plaguicides químics. Aquest procés comporta la destrucció dels marges dels camps i la desaparició d'hàbitats semi-naturals. També suposa un augment de l'homogeneïtzació dels paisatges, provocant una disminució generalitzada de la biodiversitat en les terres agrícoles (Bosch *et al.*, 2022).

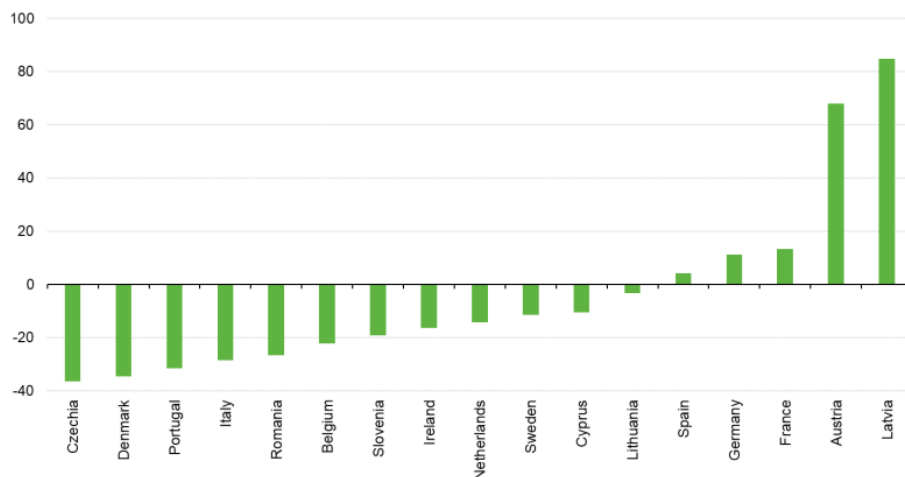
La urbanització també ha transformat el paisatge al llarg de l'últim segle, tenint un impacte negatiu en la vegetació i per tant sobre els himenòpters pol·linitzadors. Ara bé, si els nuclis urbans tenen zones verdes ben gestionades, amb una diversitat florística elevada i ús limitat de plaguicides, poden tindre característiques positives per aquests (Svenningsen *et al.*, 2022). Un estudi recent, realitzat a diferents ciutats d'Alemanya, ha demostrat que en zones urbanes existeix una riquesa d'espècies d'insectes menor, en particular de dípters i lepidòpters, en comparació amb zones rurals veïnes. En canvi, els himenòpters, especialment les abelles silvestres, mostren una riquesa d'espècies i unes taxes de visita de flors més altes en les zones urbanes que en les zones rurals (Theodorou *et al.*, 2020).

Uns altres factors que afecten negativament als himenòpters pol·linitzadors i que cada cop guanyen més importància són el canvi climàtic i les invasions biològiques. El canvi climàtic afecta als pol·linitzadors de manera directa i indirecta, a través dels seus efectes sobre les flors i els recursos alimentaris, i no només en l'abundància. Sinó que també afecta en la seva distribució geogràfica, la fenologia i les interaccions amb les plantes i altres espècies. Per exemple, amb l'augment de la temperatura, l'inici de la floració i les primeres aparicions dels pol·linitzadors varien i semblen fer-ho paral·lelament, però recentment s'ha demostrat que es poden produir desajustos temporals entre aquests ambdós (Hegland *et al.*, 2009). Per altra banda, les invasions biològiques, és a dir la introducció i establiment de plantes i animals exòtics amb potencial de generar impactes, poden provocar canvis en la quantitat o la qualitat dels hàbitats, incloent canvis en la disponibilitat dels recursos (Montero-Castaño *et al.*, 2018).

Ara bé, un dels factors més directament relacionat amb la disminució en la diversitat i el número d'himenòpters pol·linitzadors és l'ús de productes fitosanitaris. Aquests s'utilitzen per a controlar plagues, malalties i males herbes. Són un component essencial de la intensificació agrícola, però al mateix temps, tenen una sèrie d'efectes no desitjats, com ara la contaminació del medi ambient i l'impacte sobre organismes no-diana, com els himenòpters pol·linitzadors (Bosch *et al.*, 2022).

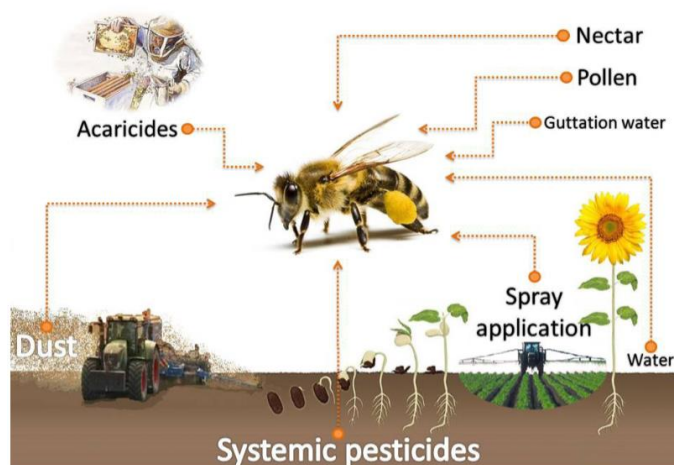
Les dades disponibles d'alguns països europeus i dels Estats Units mostren que les vendes de plaguicides es mantenen o bé augmenten des del 1990, superant les 350.000 tones anuals a la Unió Europea. Des del 2011, les vendes de plaguicides es mantenen estables al voltant de les 350.000 tones anuals a la Unió Europea. Un dels objectius de la nova Política Agrària Europea (CAP), de l'Estratègia de la UE sobre la biodiversitat 2030 i de l'Estratègia de la UE "From Farm to Fork" és la reducció del risc d'ús de plaguicides químics en un 50% pel 2030 (Bosch *et al.*, 2022). Actualment, Espanya és un dels cinc països d'Europa amb més venda de plaguicides (EUROSTAT, 2023).





**Figura 1.** Evolució, en percentatges, de les vendes de plaguicides en diferents països de la Unió Europea entre el 2011 i el 2021 (EUROSTAT, 2023).

Els himenòpters pol·linitzadors es poden veure exposats als productes fitosanitaris a través de diferents vies d'exposició. Destaca l'exposició oral, a través de la ingestió de pol·len i nèctar contaminats, de fluids de gutació i d'aigua contaminada. També es pot donar l'exposició per contacte, a les flors, òrgans de les plantes i superfícies que hagin estat afectades pels agents químics. Una altra via d'exposició és el contacte amb la pols generada durant el procés de sembra de llavors tractades amb insecticida. Aquesta pols pot entrar en contacte directament amb els himenòpters pol·linitzadors o a través de les flors (van Lexmond *et al.*, 2015).



**Figura 2.** Diferents vies per les quals els himenòpters pol·linitzadors poden estar exposats als pesticides (Kiljanek *et al.*, 2016).

Un dels insecticides més utilitzats en l'agricultura és el fipronil, que s'utilitza per controlar una gran varietat d'artròpodes terrestres, com aranyes, puces, formigues i escarabats, entre

d'altres. Tot i que el fipronil ha demostrat ser eficaç en el control de plagues, els seus residus són tòxics per animals aquàtics, com crustacis, i diversos vertebrats terrestres com conills i inclús els humans (Zhou *et al.*, 2021).

El fipronil és un insecticida de banda ampla que forma part de la família química fenilpirazol. És considerat altament tòxic degut al seus efectes letals i subletals en himenòpters pol·linitzadors. S'ha classificat com a carcinogen C (Zhou *et al.*, 2021). Aquest és un insecticida neurotòxic (Roat *et al.*, 2013) que actua com a antagonista dels receptors GABA i canals de clorur dependents de glutamat. Aquests canals són específics d'insectes, raó per la qual el fipronil té més efectes en invertebrats que en vertebrats (Simon-Delso *et al.*, 2015). Això provoca que el sistema nerviós central d'aquests es vegi alterat, provocant hiperexcitació dels nervis i músculs, i fins i tot, a concentracions elevades causa paràlisis i la mort (Kiljanek *et al.*, 2016). Però són els impactes subletals, els que són particularment crítics degut al deteriorament sotil dels individus. El fipronil, al ser insecticida neurotòxic, altera l'activitat neuronal que conduirà a un estrès oxidatiu, perjudicant la funció mitocondrial i conduirà a la neurodegeneració. En conseqüència, els himenòpters pol·linitzadors presentaran deficiències en el control motor, sensibilitat sensorial, aprenentatge i memòria i fins i tot en habilitats de navegació (Riveros i Gronenberg, 2022).

És per a això, que l'ús dels insecticides neurotòxic, especialment el fipronil i neonicotinoïdes com el imidacloprid, tiametoxam i clothianidin (Riveros *et al.*, 2022), estan prohibits a nivell de la Unió Europea (UE) des del 2013. En la UE hi ha 484 substàncies químiques permeses en l'ús agrícola i 793, incloent-hi el fipronil, no aprovades per usar com a insecticida segons el Reglament (CE) núm. 1107/2009 (Kiljanek *et al.*, 2016). Abans de ser autoritzat, el fipronil i altres pesticides han de sotmetre's a una avaluació científica exhaustiva per determinar la seva seguretat per a la salut humana i animal, així com a per a l'entorn. Entre d'altres aspectes, aquesta avaluació inclou una sèrie de tests toxicològics a nivell de laboratori, semi-camp i camp amb l'abella de la mel (EPPO, 2010). A Espanya, l'ús del fipronil està subjecte a regulacions i restriccions establertes pel Ministeri d'Agricultura, Pesca i Alimentació i les autoritats autonòmiques competents (Boletín Oficial del Estado, 2021).

## 6. OBJECTIVES

The general objective of this study is to evaluate the impact of fipronil on flying pollinators of the order Hymenoptera. More specifically, the sub-objectives are:

1. Review the scientific literature focused on articles related to fipronil and flying pollinators of the order Hymenoptera (bees, hornets and wasps).
2. Conduct a deeper analysis of the impacts of fipronil.
3. Make a proposal for informative infographic about the impacts of fipronil on flying pollinators.

Overall, the results of this study can be used as a consultation document for beekeepers, farmers and authorities related to the uses of plant protection products, so that they know the effects that fipronil can cause on pollinators. This could reduce the losses of pollinators that are currently being suffered.

## 7. METODOLOGIA

### 7.1. ANÀLISI BIBLIOMÈTRIC

Per dur a terme aquest estudi s'ha realitzat una recerca mitjançant la base de dades Web of Science, en data del 20 de febrer del 2023. La recerca es va fer utilitzant els termes "fipronil and (bee OR bees OR hornet\* OR wasp\* OR pollinator\*)", ja que com s'ha esmentat anteriorment, l'objectiu és veure l'impacte del fipronil en els himenòpters pol·linitzadors.

S'han trobat 296 articles, que posteriorment s'han analitzat i classificat en diferents categories en base a diferents ítems. S'han importat a un Excel i per cada article s'ha identificat el títol, els autors, la font, l'any de publicació i el abstract. A partir del abstract s'han classificat en diferents categories i subcategories (Taula 1).

**Taula 1.** Categories i subcategories utilitzades per a descriure els articles científics durant el procés de revisió de la bibliografia sobre fipronil i pol·linitzadors.

Categories	Subcategories	Descripció
<b>Tipus d'estudi</b>	Laboratori	Estudis realitzats al laboratori.
	Camp	Estudis de camp.
	Revisió	Revisions bibliogràfiques.
	Enquesta	Opinions i percepcions d'un grup determinat de persones.
	Simulació	Es du a terme una simulació de l'experiment.
	Individu	L'estudi es realitza directament sobre l'individu.
	Producte	L'estudi es realitza en un producte: mel, cera, pol·len.

<b>Naturalesa de la mostra</b>	Detecció	Articles relacionats amb mètodes de detecció del fipronil.
	Altres	Engloba revisions, enquestes i simulacions.
<b>Espècie</b>		Espècies estudiades en l'article.
<b>Tipus de mostra</b>	Adult	S'analitza l'efecte del fipronil en un individu en estadi adult.
	Larva	S'analitza l'efecte del fipronil en un individu en estadi larval.
	Pupa	S'analitza l'efecte del fipronil en un individu en estadi pupal.
	Ou	S'analitza l'efecte del fipronil en un individu en estadi d'ou.
	Mel	S'analitza la presència de fipronil en la mel.
	Cera	S'analitza la presència de fipronil en la cera.
	Pol·len	S'analitza la presència de fipronil en el pol·len.
<b>Efectes</b>		Enumeració del efectes produïts pel fipronil en els organismes: toxicitat, mortalitat, alteracions morfològiques, funcions cognitives, activitat motora, activitat enzimàtica fertilitat, longevitat i altres.
<b>Comparació amb altres productes</b>		S'estudia si el fipronil s'ha comparats amb altres productes químics i si és el cas amb quins.
<b>Conclusions</b>		Conclusions més rellevants extretes de l'abstract.

Es conserven només aquells articles que tracten sobre himenòpters pol·linitzadors. D'aquests es descarten els articles que pertanyen a la subcategoria de "Detecció". Finalment es conserven 127 articles per a realitzar l'estudi, en els quals s'ha dut a terme un anàlisi més detallat.

Els resultats d'aquest anàlisi bibliomètric s'analitzen mitjançant gràfiques utilitzant el programa Excel. Es mira el número total d'articles publicats per any, així com el número d'estudis de laboratori, de camp, revisions, enquestes i simulacions que s'han realitzat. S'observa quins gèneres d'himenòpters pol·linitzadors s'analitzen en els articles. També es mira en quin percentatge s'analitza el fipronil en els individus i en els productes. S'estudia més en profunditat quins efectes provoca en els himenòpters pol·linitzadors i finalment, quins són els principals productes químics amb els que es comparen els seus efectes.

## 7.2. ANÀLISI DELS EFECTES PROVOCATS PEL FIPRONIL

Després d'aquest primer anàlisi bibliomètric, els 127 articles seleccionats es llegeixen en

profunditat i s'extreuen les conclusions més importants de cadascun. A partir d'aquestes s'elabora un Annex (en un document separat) indicant tots els efectes que provoca el fipronil, tant en els productes com en els individus en diferents moments del seu cicle de vida.

En els individus en estadi adult es separen les conclusions més destacades en funció dels efectes que provoca el fipronil: toxicitat, mortalitat, alteracions morfològiques, alteracions en les funcions cognitives, en l'activitat motora, canvis en l'activitat enzimàtica, en la fertilitat i la longevitat.

### 7.3. DIVULGACIÓ

A partir d'aquest Annex i els resultats obtinguts en l'anàlisi bibliomètric es fa una proposta de infografia per informar al públic, sobretot els potencials usuaris del fipronil, dels seus efectes perjudicials per al medi. Actualment, els usuaris potencials són: (1) els propietaris de gossos i gats que utilitzen el producte per al tractament de rènecs a nivell domèstic i (2) apicultors que de manera il·legal utilitzen el producte mencionat anteriorment per fer front a la vespa asiàtica. D'aquests usos, els que té més potencial per generar un impacte al medi i més concretament als pol·linitzadors és l'ús il·legal del fipronil en el sector apícola. Per aquest motiu, la infografia anirà dirigida a aquest sector en particular.

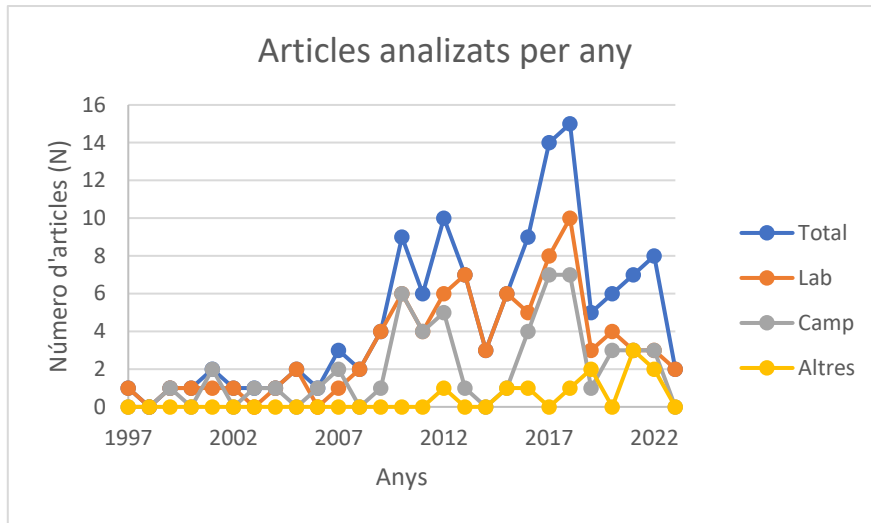
## 8. RESULTATS

### 8.1. ANÀLISI BIBLIOMÈTRIC

Com s'ha esmentat anteriorment, la base de dades final està composta per 127 estudis publicats, compresos entre el 1997 i el 2023. El primer article publicat data del 1997 i hi ha un gran increment de publicacions a partir de l'any 2010. Es produeix una davallada de publicacions en els anys 2014 i 2019. Els estudis són majoritàriament estudis de laboratori. A partir del 2010, segueixen dominant els estudis de laboratori però guanyen una gran importància els estudis de camp i no és fins als darrers anys que sorgeixen altres tipus de publicacions, tipus revisions, simulacions o enquestes.

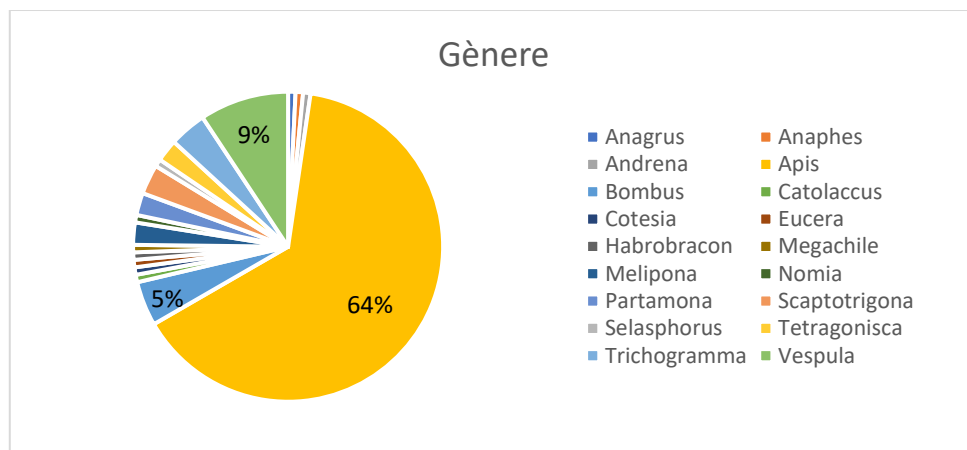
Analitzant el total en aquests darrers 26 anys, predominen els estudis experimentals al laboratori (67 %, n = 85), per sobre dels de camp (42 %, n = 54) i d'altres com poden ser revisions bibliogràfiques, enquestes o simulacions, que representen només el 9 % (n = 11).

Com es veu el total sobrepassa els 127 estudis que hi ha a la base de dades finals, això és degut a que hi ha estudis que utilitzen més d'un tipus de modalitat (Figura 3).



**Figura 3.** Número d'articles relacionats amb l'efecte del fipronil sobre diferents tipus d'himenòpters pol·linitzadors des de l'any 1997 fins al 2023. Els articles estan representats segons el tipus d'estudi, en taronja, els estudis de laboratori, en gris, els estudis de camp i en groc, la resta d'estudis com enquestes, simulacions i revisions.

Quan s'investiga quins gèneres són els més estudiats, s'observa que predomina el gènere *Apis* amb 83 articles (64% respecte el total), seguits dels gèneres *Vespa* amb 12 articles (9%), i *Bombus* amb 6 articles (5%). La resta de gèneres tenen una molt baixa representació (Figura 4).



**Figura 4.** Nombre d'articles científics segons el gènere estudiat.

S'analitza més concretament quines són les espècies estudiades per aquests tres gèneres.

Com es pot veure a la Taula 2, les espècies més estudiades per cada gènere són *Apis mellifera*, *Vespula germanica* i *Bombus terrestris*.

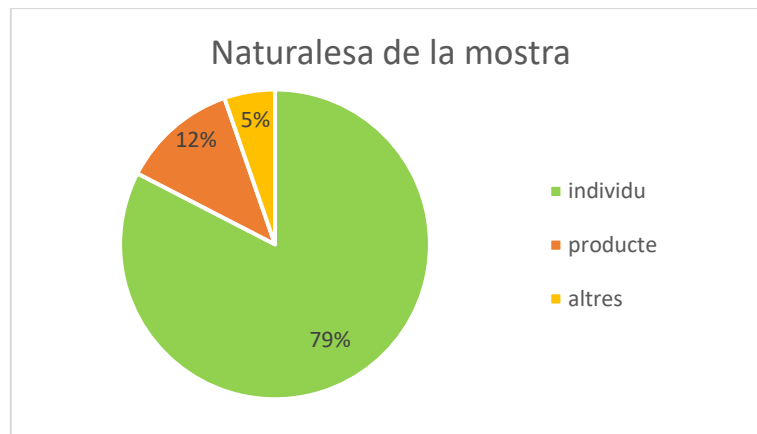
**Taula 2.** Espècies estudiades pels gèneres més analitzats.

Gènere	Espècie	Número
<i>Apis</i>	<i>Apis mellifera</i>	80
	<i>Apis cerana</i>	2
	<i>Apis florea</i>	1
<i>Vespula</i>	<i>Vespula germanica</i>	6
	<i>Vespula pensylvanica</i>	3
	<i>Vespula vulgaris</i>	3
<i>Bombus</i>	<i>Bombus terrestris</i>	3
	<i>Bombus hypocrita</i>	1
	<i>Bombus impatiens</i>	1
	<i>Bombus terricola</i>	1

Quan s'analitza la presència o l'efecte del fipronil, la majoria (n = 109, 79%) investiguen els efectes del fipronil en els organismes. En 16 estudis (12%) s'analitza la presència del fipronil en diferents productes com la mel, el pol·len o la cera. Hi ha 7 articles (5%) que són revisions i enquestes (Figura 5).

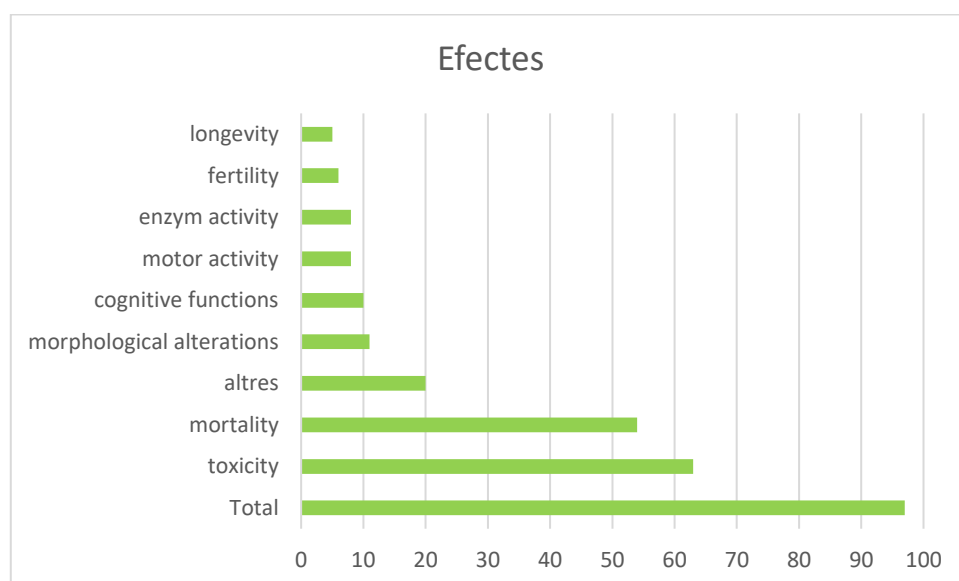
S'analitza més en detall aquells estudis que estudien l'efecte del fipronil en els organismes. Dominen els estudis que analitzen els efectes en individus en etapa adulta (n = 104, 89%), segueixen els de larves (n = 10, 9%) i finalment pupes i ous (n = 2, 2% i n = 1, 1%, respectivament).

En quant als productes en els quals s'analitza la presència del fipronil, destaquen el pol·len i la mel (n = 10, 63% i n = 7, 44% respectivament) i hi ha 1 article on s'analitza la cera.



**Figura 5.** Naturalesa de la mostra on s'analita la presència del fipronil.

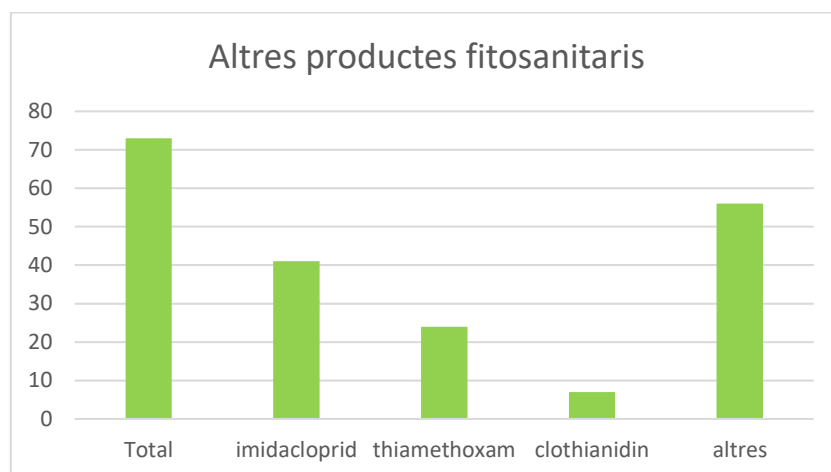
Pel que fa als efectes que provoca el fipronil en els himenòpters pol·linitzadors (Figura 6), es veu que la gran majoria d'articles objecte d'estudi es centren en investigar els efectes del fipronil (n = 97, 76%). El que més s'estudia és la toxicitat de l'insecticida (n = 63, 64%) i la mortalitat que provoca en els individus exposats (n = 54, 56%). Molts d'aquests estudis van relacionats, ja que si s'estudia la mortalitat normalment també s'estudia la toxicitat i a l'inrevés. També s'estudien alteracions morfològiques (n = 11, 11%), alteracions en les funcions cognitives (n = 10, 10%), en l'activitat motora (n = 8, 8%), en l'activitat enzimàtica (n = 8, 8%), en la fertilitat (n = 6, 6%) i la longevitat (n = 5, 5%) que provoca l'exposició al fipronil als diferents individus. I finalment, hi ha 20 estudis (21%) que analitzen altres efectes però que són molt menys freqüents.



**Figura 6.** Efectes en els himenòpters pol·linitzadors provocats per l'exposició al fipronil.



Dels 127 estudis que estudien els impactes del fipronil en els himenòpters pol·linitzadors, n'hi ha 73 (57%) que comparen els impactes o efectes d'aquest amb d'altres contaminants químics (Figura 7). Entre aquests destaquen tres neonicotinoides. El que més és repeteix és el imidacloprid amb 41 articles (56% respecte als 73 estudis), seguit del tiametoxam amb 24 articles (33%), i el clothianidin amb 7 articles (10%). Finalment, hi ha 56 estudis que comparen el fipronil amb d'altres pesticides.



**Figura 7.** Principals productes fitosanitaris amb el que es compara el fipronil.

## 8.2. ANÀLISI DELS EFECTES PROVOCATS PEL FIPRONIL

A partir de l'anàlisi en profunditat dels resultats (Annex 1), s'ha vist que l'impacte del fipronil afecta sobretot els organismes en estadi adult.

No existeixen molts resultats que analitzin la presència de fipronil en diferents productes derivats de l'abella de la mel. Es detecta fipronil en un baix percentatge de mostres de pol·len i de mel. I en l'únic article que estudia la cera no s'ha detectat cap residu en ninguna de les mostres.

Pel que fa als efectes en els organismes, en els estadis de desenvolupament joves, s'estudia sobretot la toxicitat i en casos puntuals s'observen algunes alteracions morfològiques. Però l'impacte del fipronil s'estudia majoritàriament en els individus adults. S'ha vist que els productes fitosanitaris, fipronil inclòs, provoquen efectes letals. Són altament tòxics, provocant efectes negatius en el desenvolupament i, concretament en el cas de l'abella de la mel, el manteniment de les colònies. En molts casos, encara que no en tots, es relaciona aquests productes amb la mort dels himenòpters pol·linitzadors. També s'ha vist que poden provocar una gran varietat d'efectes subletals. Entre aquests destaquen alteracions en l'activitat enzimàtica, alteracions morfològiques, alteracions en les funcions cognitives, canvis en el

comportament, la fertilitat, la longevitat i la locomoció (Annex 1).

Quan s'observen les dosis aplicades, es veu que dosis subletals (dosi que no conté prou toxina o substància nociva per causar la mort), normalment de 0,5 ng/abella, ja provoquen greus efectes en els himenòpters pol·linitzadors. És a dir que dosis molt baixes de fipronil poden tindre greus efectes en la salut i, concretament en el cas de l'abella de la mel, el desenvolupament de les colònies.

### 8.3. DIVULGACIÓ

A partir de l'estudi dels efectes provocats pel fipronil en els himenòpters pol·linitzadors és fa una proposta d'infografia divulgativa sobre els seus impactes.



**Figura 8.** Proposta d'infografia divulgativa sobre els impactes del fipronil en els himenòpters pol·linitzadors.

## 9. DISCUSSIÓ

### 9.1. ANÀLISI BIBLIOMÈTRIC

Els estudis relacionats amb el fipronil i els seus efectes en el pol·linitzadors són força recents. El primer article data de 1997 i han anat augmentant al llarg de temps. Com s'ha esmentat anteriorment, hi ha hagut un gran augment en el número de publicacions des de l'any 2010 al 2020. Aquest augment coincideix amb un augment en el número d'articles que estudien l'abella de la mel (*Apis mellifera*). Això és degut a que en aquesta dècada existeix un increment en el coneixement de l'apicultura, en el maneig de ruscs i la qualitat de productes com la mel (Aristizál, 2021). Es veu una davallada en els anys 2014 i 2019, aquesta pot ser deguda a la pandèmia del COVID-19, el que provoca un endarreriment en els estudis i conseqüentment en les publicacions. En quant al patró dels estudis de laboratori i de camp coincideix amb l'augment i la disminució de les publicacions totals. En el que respecta a les revisions bibliogràfiques, aquestes són més recents, comencen a ser publicades al 2012, això es degut a que calen estudis anteriors per al de realitzar-les.

El gènere *Apis* és el més estudiat en aquests 127 articles però sobretot s'estudia l'espècie *Apis mellifera*, amb un gran percentatge respecte les altres. Això és degut a que aquesta és reconeguda mundialment pel seu valor social, econòmic i ambiental (Roat *et al.*, 2017), és per això que és important determinar les causes de la disminució de les seves colònies. Seguidament, el gènere més estudiat és *Vespula*. És un gènere potencialment invasor que pot afectar severament l'agricultura, el turisme i l'apicultura, entre d'altres, provocant grans pèrdues econòmiques (Curkovic *et al.*, 2018). Les vespes són depredadores de les abelles, envaeixen els ruscos per robar la mel, el pol·len, les larves, inclús individus adults per proporcionar sucres i proteïnes per elles i les seves cries (Pusceddu *et al.*, 2017). Això provoca efectes devastadors en la salut dels ruscos, i conseqüentment provoca danys en la indústria apícola (Edwards *et al.*, 2018). És per això que els estudis referents al gènere *Vespula* tracten sobretot sobre trampes per intentar disminuir o eliminar aquests individus. Finalment, el gènere *Bombus* també està força estudiat ja que aquest és un pol·linitzador crític per certes plantes (Tsvetkov *et al.*, 2021). Els seus mecanismes termoreguladors els permet viure en climes freds, encara que també es poden trobar en zones tropicals, el que els permet una activitat completa en condicions que resulten extremes per d'altres pol·linitzadors (Cameron *et al.*, 2007).

## 9.2. ANÀLISI DELS EFECTES PROVOCATS PEL FIPRONIL

Els efectes dels productes fitosanitaris, com el fipronil, sobre els organismes pol·linitzadors depenen de la toxicitat del producte, dels nivells d'exposició i de la seva persistència. Alguns productes poden persistir en l'ambient durant mesos, provocant que augmenti el risc d'intoxicació per exposició crònica (Bosch *et al.*, 2022).

Les etapes de desenvolupament larvals i pupals són les més susceptibles als efectes dels insecticides. Aquestes s'utilitzen principalment per estimar les diferents concentracions letals i subletals. Un cop s'han determinat aquestes concentracions s'utilitzen en els organismes adults i serà en els supervivents on s'analitza la resposta funcional (Rashidi *et al.*, 2018). Els efectes s'estudien principalment en els individus en estadi adult, ja que el que interessa és estudiar aquesta resposta funcional a diferents concentracions. A part dels propis organismes, també es troba fipronil en productes com el pol·len recol·lectat per les abelles de la mel o la mateixa mel que produeixen. Les abelles de la mel recullen pol·len contaminat i el transporten fins als rusc. La incorporació d'aquests productes al rusc pot causar la seva introducció en la cadena alimentària, afectant de retruc la salut humana (Garcia-Chao *et al.*, 2010).

Els efectes del fipronil sobre els organismes himenòpters pol·linitzadors variaran segons les dosis a les que els himenòpters pol·linitzadors es vegin exposats. Per les abelles de la mel, la dosis letal 50 (dosis individual d'una substància que provoca la mort del 50% de la població degut a l'exposició a la substància per qualsevol via excepte la inhalació) per contacte és de 7 ng/abella, i de 1 ng/abella si la dosis és oral (Sanchez-Bayo i Goka, 2014). Això vol dir que es requereixen quantitats molt petites d'aquesta molècula per provocar efectes letals.

Els efectes letals són més nocius i més fàcils de detectar, el que pot ajudar en la seva prevenció. En canvi els efectes subletals afecten el comportament o la fisiologia del pol·linitzador, i per tant, són més difícils de detectar perquè no provoquen la mort, sinó que provoquen un sotil deteriorament dels individus, que finalment es veurà reflectit en un deteriorament general de les colònies (Riveros *et al.*, 2022). Tot i això, els efectes subletals són igual de greus que els letals ja que alteren l'activitat del pol·linitzador i per tant el seu èxit reproductiu, i conseqüentment alterarà els nivells poblacionals (Bosch *et al.*, 2022). Els efectes subletals causats pel fipronil són molt variats, com s'han vist anteriorment, poden afectar al comportament, als efectes cognitius, la locomoció, l'activitat enzimàtica, la fertilitat, la pèrdua d'orientació, entre d'altres.

Aquestes variacions poden tindre greus conseqüències tant a nivell d'individu com a nivell de colònia, en el cas de l'abella de la mel. Per exemple, modificacions en la locomoció o l'activitat motora pot suposar que els himenòpters pol·linitzadors es desplacin més lentament. Per

l'abella de la mel, una activitat motora adequada és essencial per quan han de recol·lectar els recursos per la colònia, però també per poder-se comunicar a través de patrons de dansa (Bovi *et al.*, 2018). S'ha vist que el fipronil afecta a la fertilitat disminuint la quantitat d'espermatozoides, que va associat a un augment de la mortalitat d'espermatozoides (Kairo *et al.*, 2017) i que la proporció de sexes en la descendència es majoritàriament femenina (Ghorbani *et al.*, 2016). Baixes dosis de fipronil poden afectar a les funcions cognitives, com a l'aprenentatge olfatori de les abelles (El Hassani *et al.*, 2005), es redueixen els rendiments de memòria, així com l'èxit d'adquisició del pol·len (Bernadou *et al.*, 2009), el que també afecta la recol·lecció de recursos per la colònia. També s'ha observat que provoca moltes alteracions morfològiques en totes les etapes del desenvolupament, provocant que la seva supervivència sigui menys viable. Moltes modificacions són a nivell de l'intestí, sobretot si el fipronil arriba per la via oral, com alteracions en la seva fisiologia o en el nombre de cèl·lules positives per a les proteïnes de la via de senyalització, el que indueix a una mort cel·lular (Farder-Gomes *et al.*, 2021). Altres modificacions es poden veure a nivell de les ales o les potes, provocant que tinguin dificultats en els desplaçaments (Pashte *et al.*, 2018).

Una funció òptima del sistema nerviós dels himenòpters pol·linitzadors és essencial pel bon funcionament tant individual com de la colònia, en el cas de les espècies colonials, és per això que cada cop es dediquen més temps i esforços en investigar com l'exposició subletal al fipronil pot afectar al sistema nerviós (Pisa *et al.*, 2015).

En diversos estudis dels que s'han revisat s'han comparat els efectes del fipronil es comparen principalment amb els del imidacloprid, el tiametoxam i el clothianidin. Aquests pertanyen al grup dels neonicotinoides i actualment són dels insecticides més utilitzats a nivell mundial i per tant, són objectiu principal per investigar possibles relacions amb les grans pèrdues d'himenòpters pol·linitzadors (Pisa *et al.*, 2015).

Tant els neonicotinoides com el fipronil actuen interrompen la transmissió dels neurotransmissors en el sistema nerviós central dels invertebrats. Amb la diferència que els neonicotinoides actuen com agonista dels receptors nicotínics de acetilcolina, és a dir que imiten l'acció dels neurotransmissors, i el fipronil actua com antagonista dels receptors GABA i els canals de clorur dependents de glutamat, és a dir que inhibeix els receptors neuronals (Simon-Delso *et al.*, 2015). Aquests canals són específics dels invertebrats, és per això que el fipronil és més tòxic pels invertebrats, com els himenòpters pol·linitzadors, que pels vertebrats.

S'ha observat que el fipronil i el imidacloprid són inhibidors de la respiració mitocondrial i la producció de ATP en les abelles del gènere *Apis*, provocant alteracions en la termoregulació, això també s'ha observat amb el tiametoxam. Mentre que el clothianidin causa una ràpida despolarització mitocondrial en els borinots (*Bombus*) (Giorio *et al.*, 2021). També s'ha

demonstrat que el imidacloprid, el tiametoxam i el clothianidin provoquen una ràpida paràlisi muscular en *Apis mellifera* (Girolami *et al.*, 2009). És important comparar diferents tipus de pesticides per veure quins provoquen menys danys i quins són els més adequats per usar.

### 9.3. DIVULGACIÓ

El material de divulgació és important per informar als agricultors i autoritats competents dels efectes que poden causar els productes fitosanitaris, més en concret, el fipronil, en els himenòpters pol·linitzadors, i així en puguin fer un bon ús i minimitzar els riscos (Olmedo Estrada, 2011).

## 10. CONCLUSIONS

Based on the bibliometric analysis, the following conclusions have been reached.

- The published articles about fipronil have increased since 2010, with a fall in 2014 and 2019.
- The most studied genera are *Apis*, *Vespula* and *Bombus*, and the species with the most publications is *Apis mellifera*.
- The presence and/or effect of fipronil is analyzed mainly in individuals at the stage of adult development.
- The most studied effects are toxicity and mortality, especially in adult individuals.
- The effects of fipronil are compared with three of the most commonly used neonicotinoids: imidacloprid, thiamethoxam and clothianidin.

Based on the study of the effects caused by fipronil, it has been seen that:

- The effect is mainly studied in individuals, but it is also important to study its presence in products such as pollen, honey and wax of honeybees.
- The fipronil used in crops can contaminate non-target species, such as bees, which can cause the introduction of chemicals in the food chain, can affect human health.
- The most studied effects are lethal effects such as mortality.
- Sublethal effects can be very varied, the most prominent being morphological alterations, affectations in enzyme activity, cognitive functions and locomotion.

Good use of plant protection products is important to protect pollinators. Farmers, beekeepers and the competent authorities are therefore aware of the serious effects that certain plant protection products, such as fipronil, can cause, especially if these products are misused. That is why the current regulations must be followed, which implies using only products legally permitted, for the uses legally indicated, in the legally permitted doses, only at the permitted phenological stages and apply the product in compliance with the safety indications indicated (Bosch *et al.*, 2022). Good training and monitoring of good practices during the implementation process are therefore essential to minimize risks. But it is important to remember that the use of fipronil is prohibited at the level of the European Union due to its high level of toxicity.

## 11. BIBLIOGRAFIA

- Aristizál, G. (2021). Estado de conocimiento de estudios en abejas (hymenoptera: apoidea) en Colombia, con énfasis en su ecología funcional.
- Bailo, G. L. (2019). Litigation on pollinators (the law according to bees). *Derecho y ciencias sociales*, 21, 263-283.
- Bernadou, A., Demares, F., Couret-Fauvel, T., Sandoz, J. C., & Gauthier, M. (2009). Effect of fipronil on side-specific antennal tactile learning in the honeybee. *Journal of insect physiology*, 55(12), 1099-1106. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2009.08.019>
- Boletín Oficial del Estado. (2021). Real decreto 285/2021, de 20 d'abril, pel qual s'estableixen les condicions d'emmagatzematge, comercialització, importació o exportació, control oficial i autorització d'assajos amb productes fitosanitaris. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2021/04/20/285>
- Bosch, J., Stefanescu, C., Roquer-Beni, L., Rodrigo, A., Alins, G., & Pérez, S. (2022) Els himenòpters pol·linitzadors silvestres a Catalunya; *Informe sobre estatus, amenaces i àmbits prioritaris d'actuació per a la seva conservació*. Barcelona. Generalitat de Catalunya. Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural
- Bovi, T. S., Zaluski, R., & Orsi, R. O. (2018). Toxicity and motor changes in Africanized honey bees (*Apis mellifera L.*) exposed to fipronil and imidacloprid. *Anais da academia brasileira de ciencias*, 90(1), 239-245. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820150191>
- Cameron, S. A., Hines, H. M., & Williams, P. H. (2007). A comprehensive phylogeny of the



bumble bees (*Bombus*). *Biological Journal of the Linnean Society*, 91(1), 161-188. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2007.00784.x>

- Castilhos, D., Bérigamo, G. C., Gramacho, K. P., & Gonçalves, L. S. (2019). Bee colony losses in Brazil: A 5-year online survey. *Apidologie*, 50(3), 263-272. <https://doi.org/10.1007/s13592-019-00642-7>

- Curkovic, T., Santibanez, D., Araya, J. E., & Contreras, A. (2018). Attraction of *Vespula germanica* workers to protein baits mixed with insecticides. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 34(3), 199-204. <https://doi.org/10.4067/S0719-38902018005000503>

- de Moraes, C. R., Nassif Travencolo, B. A., Carvalho, S. M., Beletti, M. E., Vieira Santos, V. S., Campos, C. F., de Campos Junior, E. O., Pereira, B. B., Carvalho Naves, M. P., Alves de Rezende, A. A., Spano, M. A., Vieira, C. U., & Bonetti, A. M. (2018). Ecotoxicological effects of the insecticide fipronil in Brazilian native stingless bees *Melipona scutellaris* (Apidae: Meliponini). *Chemosphere*, 206, 632-642. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.153>

- Edwards, E. D., Woolly, E. F., McLellan, R. M., & Keyzers, R. A. (2018). Non-detection of honeybee hive contamination following *Vespula* wasp baiting with protein containing fipronil. *Plos One*, 13(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206385>

- El Hassani, A., Dacher, M., Gauthier, M., & Armengaud, C. (2005). Effects of sublethal doses of fipronil on the behavior of the honeybee (*Apis mellifera*). *Pharmacology biochemistry and behavior*, 82(1), 30-39. <https://doi.org/10.1016/j.pbb.2005.07.008>

- EPPO, Mediterranean Plant Protection Organization. (2010). Environmental risk assessment scheme for plant protection products, Chapter 10: honeybees. *EPPO Bull* 40, 323–331. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2338.2010.02419.x>

- EUROSTAT. (2023). *Agri-environmental indicator - consumption of pesticides*. <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?oldid=525150>

- Farder-Gomes, C. F., Fernandes, K. M., Bernardes, R. C., Bastos, D. S. S., de Oliveira, L. L., Martins, G. F., & Serrao, J. E. (2021). Harmful effects of fipronil exposure on the behavior and brain of the stingless bee *Partamona helleri* Friese (Hymenoptera: Meliponini). *Science of the total environment*, 794. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148678>

- Garcia-Chao, M., Jesus Agruna, M., Flores Calvete, G., Sakkas, V., Llompарт, M., & Dagnac, T. (2010). Validation of an off line solid phase extraction liquid chromatography-tandem mass spectrometry method for the determination of systemic insecticide residues in honey and pollen samples collected in apiaries from NW Spain. *Analytica chimica acta*, 672(1-2), 107-113.

<https://doi.org/10.1016/j.aca.2010.03.011>

- Garibaldi, L., Morales, C., Ashworth, L., Chacoff, N., & Aizen, M. (2012). Los polinizadores en la agricultura. *CONICET*, 21, 35-43.
- Giorio, C., Safer, A., Sanchez-Bayo, F., Tapparo, A., Lentola, A., Girolami, V., van Lexmond, M. B., & Bonmatin, J.-M. (2021). An update of the Worldwide Integrated Assessment (WIA) on systemic insecticides. Part 1: New molecules, metabolism, fate, and transport. *Environmental science and pollution research*, 28(10), 11716-11748. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0394-3>
- Gonçalves, S., Vasconcelos, M. W., Mendonça Mota, T. F., Hofma Lopes, J. M., Guimaraes, L. J., Beatriz Miglioranza, K. S., & Ghisi, N. de C. (2022). Identifying global trends and gaps in research on pesticide fipronil: A scientometric review. *Environmental science and pollution research*, 29(52), 79111-79125. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21135-8>
- Girolami, V., Mazzon, L., Squartini, A., Mori, N., Marzaro, M., Di bernardo, A., Greatti, M., Giorio, C., & Tapparo, A. (2009). Translocation of Neonicotinoid Insecticides From Coated Seeds to Seedling Guttation Drops: A Novel Way of Intoxication for Bees. *Journal of Economic Entomology*, 102(5), 1808-1815. <https://doi.org/10.1603/029.102.0511>
- Ghorbani, M., Saber, M., Bagheri, M., & Vaez, N. (2016). Effects of Diazinon and Fipronil on Different Developmental Stages of *Trichogramma brassicae* Bezdenko (Hym.; Trichogrammatidae). *Journal of agricultural science and technology*, 18(5), 1267-1278.
- Hegland, S. J., Nielsen, A., Lázaro, A., Bjerknes, A.-L., & Totland, Ø. (2009). How does climate warming affect plant-pollinator interactions? *Ecology Letters*, 12(2), 184-195. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01269.x>
- Kairo, G., Poquet, Y., Haji, H., Tchamitchian, S., Cousin, M., Bonnet, M., Pelissier, M., Kretzschmar, A., Belzunces, L. P., & Brunet, J.-L. (2017). Assessment of the toxic effect of pesticides on honey bee drone fertility using laboratory and semifield approaches: a case study of fipronil. *Environmental toxicology and chemistry*, 36(9), 2345-2351. <https://doi.org/10.1002/etc.3773>
- Kiljanek, T., Niewladowska, M., & Posyniak, A. (2016). Pesticide poisoning of honeybees: a review of symptoms, incident classification, and causes of poisoning. *Journal of apicultural science*, 60(2), 5-24. <https://doi.org/10.1515/jas-2016-0024>
- Montero-Castaño, A., Calviño-Cancela, M., Rojas-Nossa, S., De La Rúa, P., Arbetman, M., & Morales, C. L. (2018). Biological invasions and pollinator decline. *Ecosistemas*, 27(2), 42-

51. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1319>

- Olmedo Estrada, J. C. (2011). Educación y divulgación de la Ciencia: Tendiendo puentes hacia la alfabetización científica. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 8(2), 137-148.

[https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2011.v8.i2.01](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2011.v8.i2.01)

- Pashte, V. V., & Patil, C. S. (2018). Toxicity and Poisoning Symptoms of selected Insecticides to Honey Bees (*Apis mellifera* L.). *Archives of biological sciences*, 70(1), 5-12.

<https://doi.org/10.2298/ABS170131020P>

- Pisa, L. W., Amaral-Rogers, V., Belzunces, L. P., Bonmatin, J. M., Downs, C. A., Goulson, D., Kreuzweiser, D. P., Krupke, C., Liess, M., McField, M., Morrissey, C. A., Noome, D. A., Settele, J., Simon-Delso, N., Stark, J. D., Van der Sluijs, J. P., Van Dyck, H., & Wiemers, M. (2015). Effects of neonicotinoids and fipronil on non-target invertebrates. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(1), 68-102. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3471-x>

- Pusceddu, M., Floris, I., Buffa, F., Salaris, E., & Satta, A. (2017). Agonistic interactions between the honeybee (*Apis mellifera ligustica*) and the European wasp (*Vespula germanica*) reveal context-dependent defense strategies. *Plos One*, 12(7), e0180278.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180278>

- Rashidi, F., Nouri-Ganbalani, & G., Imani, S. (2018). Sublethal Effects of Some Insecticides on Functional Response of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) When Reared on Two Lepidopteran Hosts. *Journal of economic entomology*, 111(3), 1104-1111.

<https://doi.org/10.1093/jee/toy069>

- Riveros, A. J., & Gronenberg, W. (2022). The flavonoid rutin protects the bumble bee *Bombus impatiens* against cognitive impairment by imidacloprid and fipronil. *Journal of experimental biology*, 225(17).

<https://doi.org/10.1242/jeb.244526>

- Roat, T. C., Carvalho, S. M., Nocelli, R. C. F., Silva-Zacarin, E. C. M., Palma, M. S., & Malaspina, O. (2013). Effects of Sublethal Dose of Fipronil on Neuron Metabolic Activity of Africanized Honeybees. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 64(3), 456-466.

<https://doi.org/10.1007/s00244-012-9849-1>

- Roat, T. C., Carvalho, S. M., Palma, M. S., & Malaspina, O. (2017). Biochemical response of the africanized honeybee exposed to fipronil. *Environmental toxicology and chemistry*, 36(6), 1652-1660.

<https://doi.org/10.1002/etc.3699>

- Sanchez-Bayo, F., & Goka, K. (2014). Pesticide Residues and Bees – A Risk Assessment.

*Plos One*, 9(4), e94482. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094482>

- Simon-Delso, N., Amaral-Rogers, V., Belzunces, L. P., Bonmatin, J. M., Chagnon, M., Downs, C., Furlan, L., Gibbons, D. W., Giorio, C., Girolami, V., Goulson, D., Kreutzweiser, D. P., Krupke, C. H., Liess, M., Long, E., McField, M., Mineau, P., Mitchell, E. A. D., Morrissey, C. A., ... Wiemers, M. (2015). Systemic insecticides (neonicotinoids and fipronil): Trends, uses, mode of action and metabolites. *Environmental Science and Pollution Research International*, 22(1), 5-34. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3470-y>

- Svenningsen, C., Bowler, D., Hecker, S., Bladt, J., Grescho, V., Dam, N., Dauber, J., Eichenberg, D., Ejrnæs, R., Fløjgaard, C., Frenzel, M., Frøslev, T., Hansen, A., Heilmann-Clausen, J., Huang, Y., Larsen, J., Menger, J., Nayan, N., Pedersen, L., & Bonn, A. (2022). Flying insect biomass is negatively associated with urban cover in surrounding landscapes. *Diversity and Distributions*, 28, n/a-n/a. <https://doi.org/10.1111/ddi.13532>

- Theodorou, P., Radzevičiūtė, R., Lentendu, G., Kahnt, B., Husemann, M., Bleidorn, C., Settele, J., Schweiger, O., Grosse, I., Wubet, T., Murray, T. E., & Paxton, R. J. (2020). Urban areas as hotspots for bees and pollination but not a panacea for all insects. *Nature Communications*, 11(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14496-6>

- Tsvetkov, N., MacPhail, V. J., Colla, S. R., & Zayed, A. (2021). Conservation genomics reveals pesticide and pathogen exposure in the declining bumble bee *Bombus terrestris*. *Molecular ecology*, 30(17), 4220-4230. <https://doi.org/10.1111/mec.16049>

- van Lexmond, M. B., Bonmatin, J.-M., Goulson, D., & Noome, D. A. (2015). Worldwide integrated assessment on systemic pesticides. *Environmental Science and Pollution Research International*, 22(1), 1-4. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3220-1>

- Zhou, Z., Wu, X., Lin, Z., Pang, S., Mishra, S., & Chen, S. (2021). Biodegradation of fipronil: Current state of mechanisms of biodegradation and future perspectives. *Applied microbiology and biotechnology*, 105(20), 7695-7708. <https://doi.org/10.1007/s00253-021-11605-3>