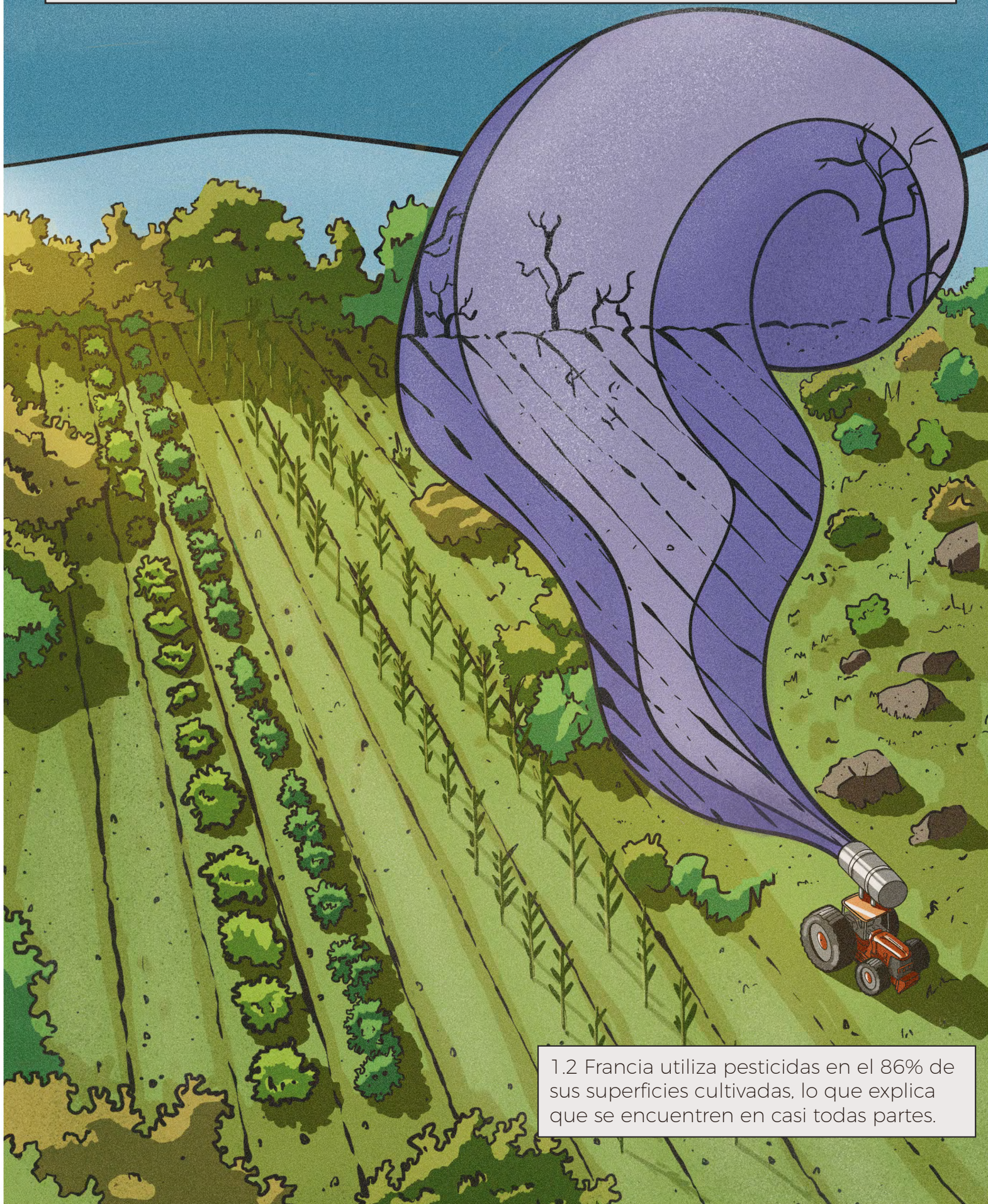


¿COMO ENTENDER MEJOR LA DEGRADACION DE LOS PLAGUICIDAS EN LOS SUELOS?

Grupo de científicos participantes en el Proyecto DECISIVE*
Financiado por la Fundación Nacional de la Ciencia de Francia.

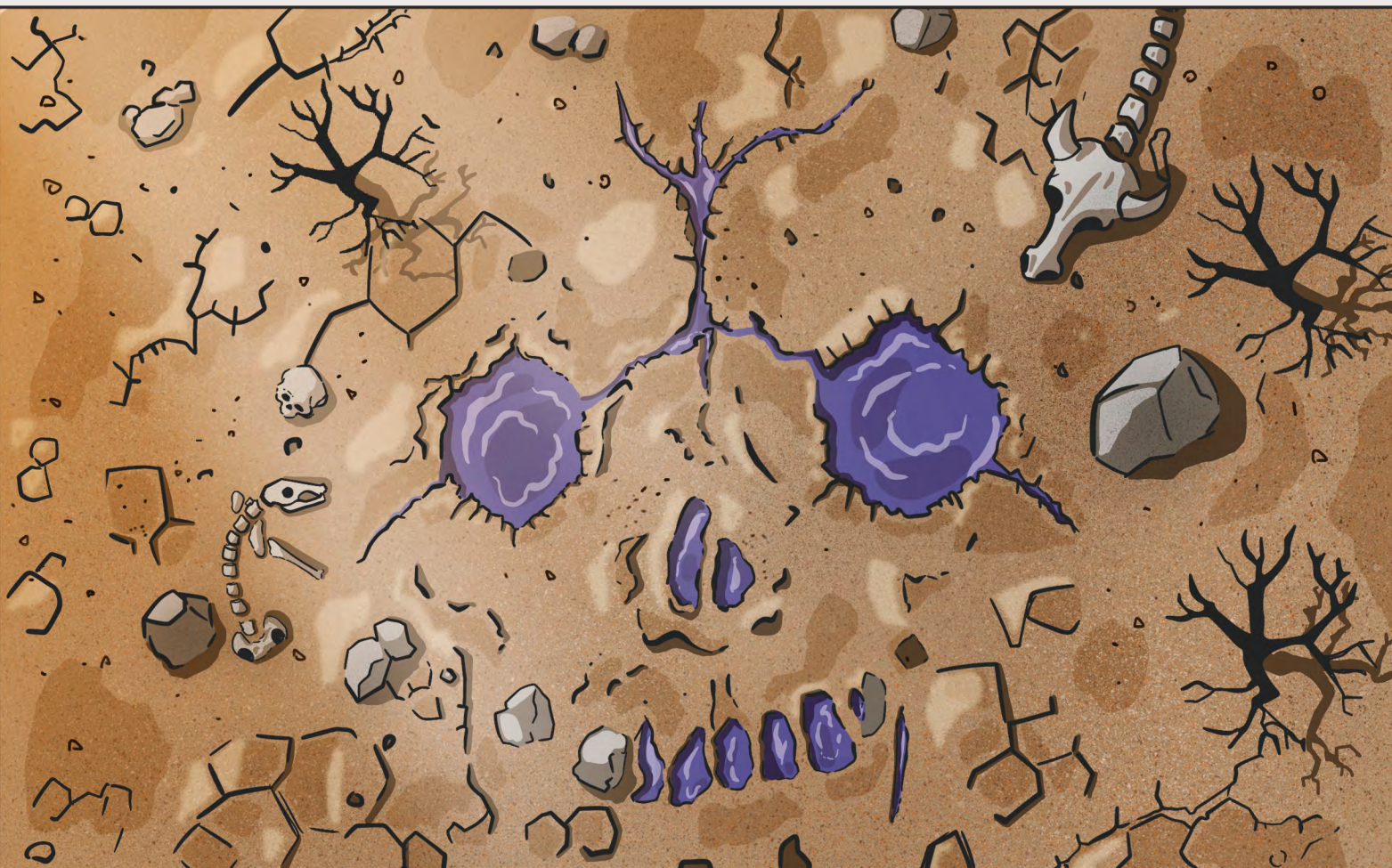
*En orden alfabético: Ouassim Boukaroum Patrick Höhener Fabrice Martin-Laurent María Prieto-Espinoza
Didier Gori Gwenaël Imfeld Jérémy Masbou Ilustrador:
Benoit Cuyot Laure Malleret Sylvain Payraudeau Sergio Castagné

1.1 Los plaguicidas se utilizan en un modelo agrícola denominado agricultura convencional para suprimir las malas hierbas (herbicidas), las plagas de insectos (insecticidas) y los hongos patógenos de las plantas (fungicidas).



1.2 Francia utiliza pesticidas en el 86% de sus superficies cultivadas, lo que explica que se encuentren en casi todas partes.

1.3 Anteriormente, algunos plaguicidas como el DDT se acumulaban en los suelos y luego en la cadena alimenticia, con graves repercusiones para la salud de los ecosistemas y de los seres humanos.



1.4 Desde entonces, se han prohibido los plaguicidas más persistentes y hoy en día se exige que los plaguicidas "desaparezcan" (se disipen, se eliminen) de un campo en el plazo de un año desde su cultivo.

D.D.T.
Dichlorodiphenyltrichloroethane

ClC(Cl)(Cl)c1ccc(Cl)cc1-c2ccc(Cl)cc2

BANNED
1970

CHLORDEKONE
A.k.a. Kepone

ClC1(Cl)C(Cl)C(Cl)C(Cl)C1(Cl)Cl

BANNED
1990

ATRAZINE
6-chloro-N-ethyl-N'-(1-methylethyl)-triazine-2,4-diamine

CCNc1nc(Cl)n(C)nc1

EU REGULATED
2003

SIMAZINE
6-chloro-N2,N4-diethyl-1,3,5-triazine-2,4-diamine

CCNc1nc(Cl)n(C)nc1

BANNED
2001

TERBUTRYNE
2-N-tert-butyl-4-N-ethyl-6-methylsulfany-1,3,5-triazine-2,4-diamine

CCNc1nc(C)nc(C)(C)S1

BANNED
2003

DIURON
A.k.a. DCMU

CCN(C)C(=O)Nc1ccc(Cl)c(Cl)c1

BANNED
2003

AMINOTRIAZOLE
3-Amino-1,2,4-triazole

Nc1cc[nH]n1

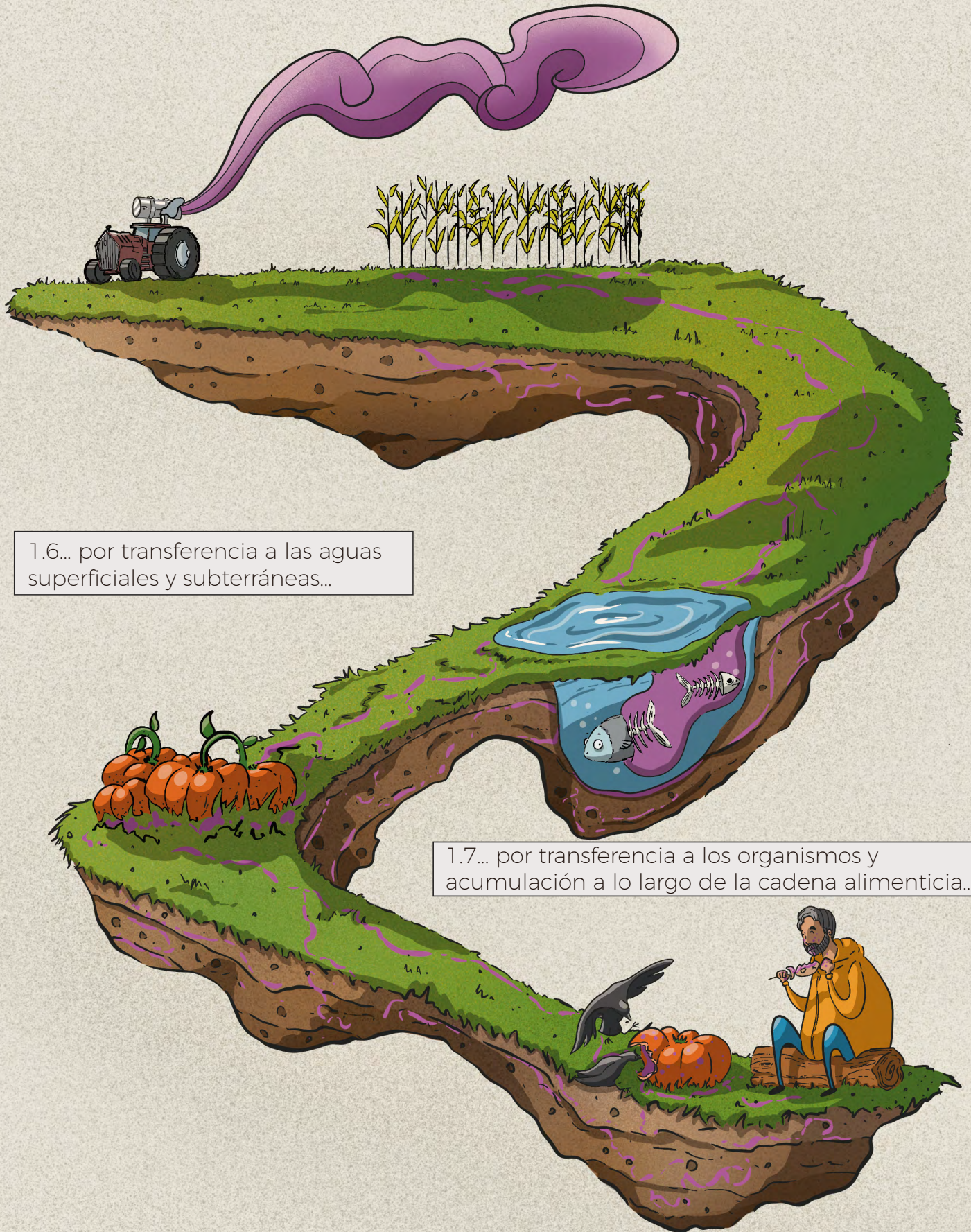
BANNED
????

S-METOLACHLOR
2-chloro-N-(2-ethyl-6-methylphenyl)-N-[(2S)-1-methoxypropan-2-yl]acetamide

CCOC(=O)Nc1ccc(C)c(C)c1CC

BANNED
????

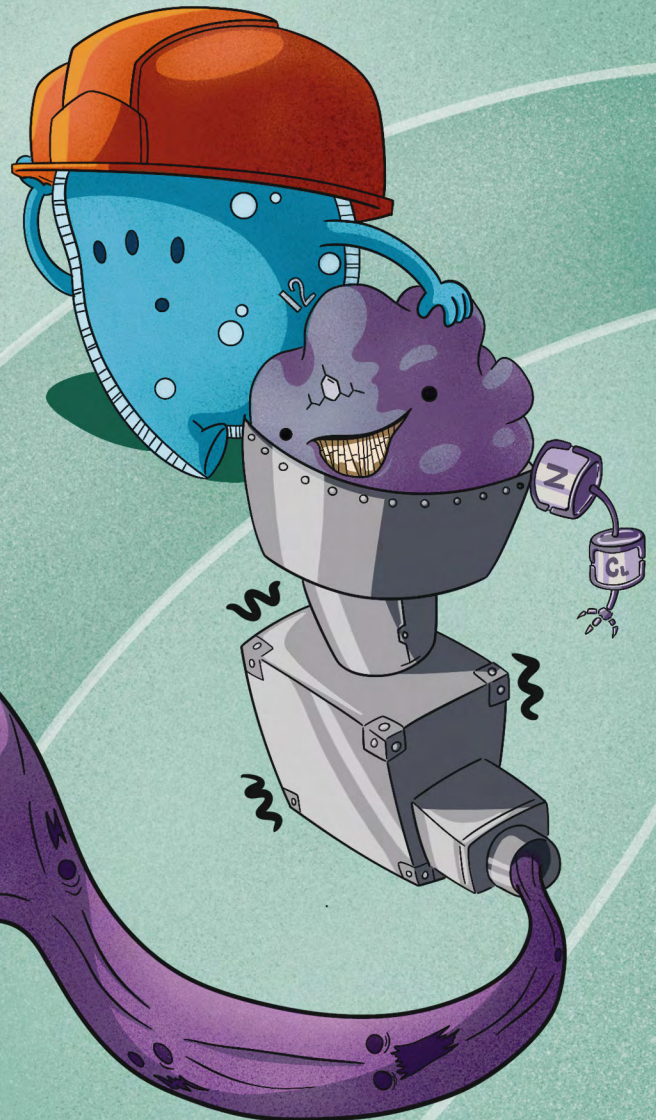
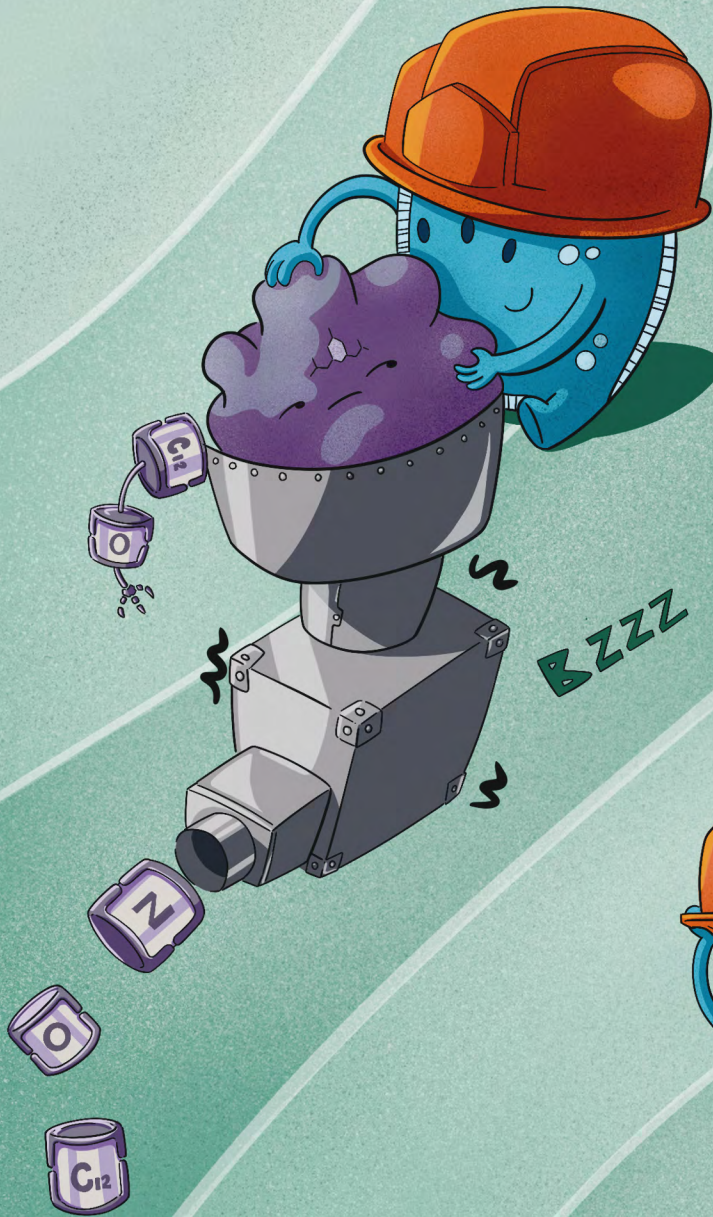
1.5 Esta disipación se produce por volatilización, que sin embargo sólo constituye una dilución de la masa inicial de plaguicidas en el medio ambiente...



1.6... por transferencia a las aguas superficiales y subterráneas...

1.7... por transferencia a los organismos y acumulación a lo largo de la cadena alimenticia...

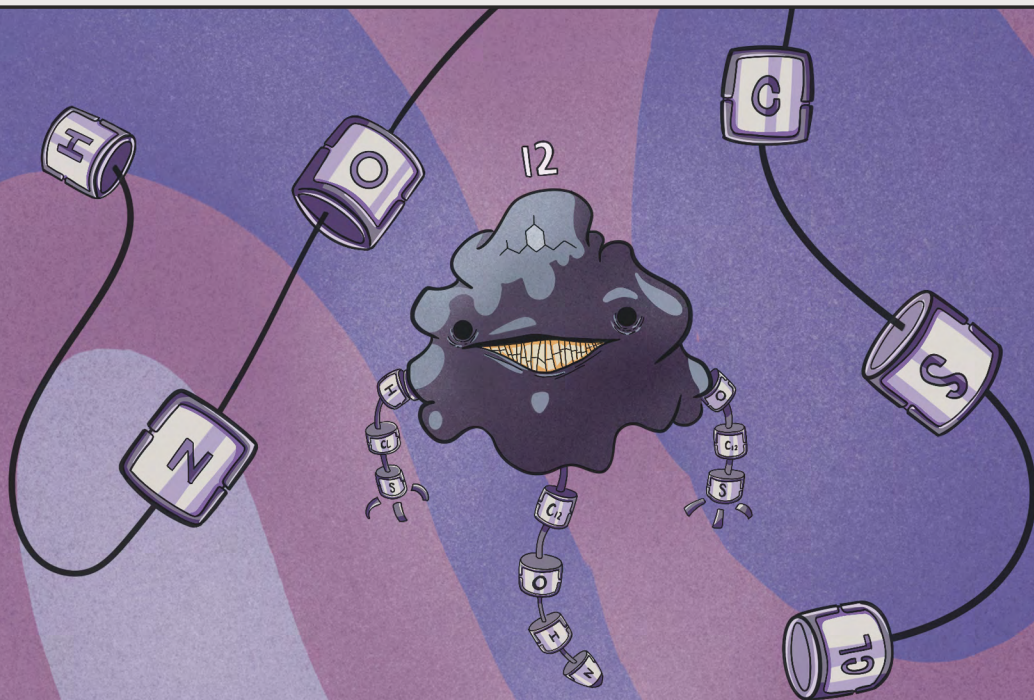
1.8 ...y/o por procesos de degradación. Dado que ningún ser vivo quiere respirar o beber plaguicidas, sólo la degradación es aceptable como proceso de eliminación.



1.9 Problema: el proceso de degradación puede ser incompleto y dar lugar a la acumulación de productos de transformación a veces persistentes y nocivos.



2.1 El proyecto DECISIVE, financiado por la Agencia Nacional de Investigación Francesa, ha desarrollado un enfoque innovador que demuestra la existencia de la degradación de plaguicidas en los suelos. Este enfoque se basa en los isótopos estables de los plaguicidas. ¿Cómo funciona?

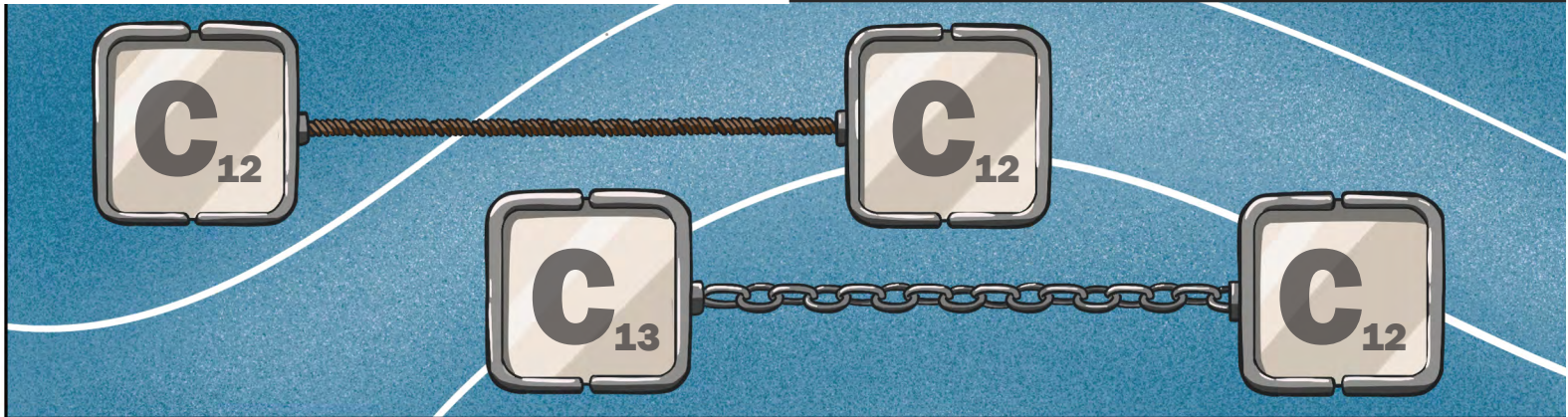


2.2 Los plaguicidas son moléculas sintéticas compuestas por los elementos carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O), que a veces también contienen otros elementos como nitrógeno (N), azufre (S) o cloro (Cl), entre otros.

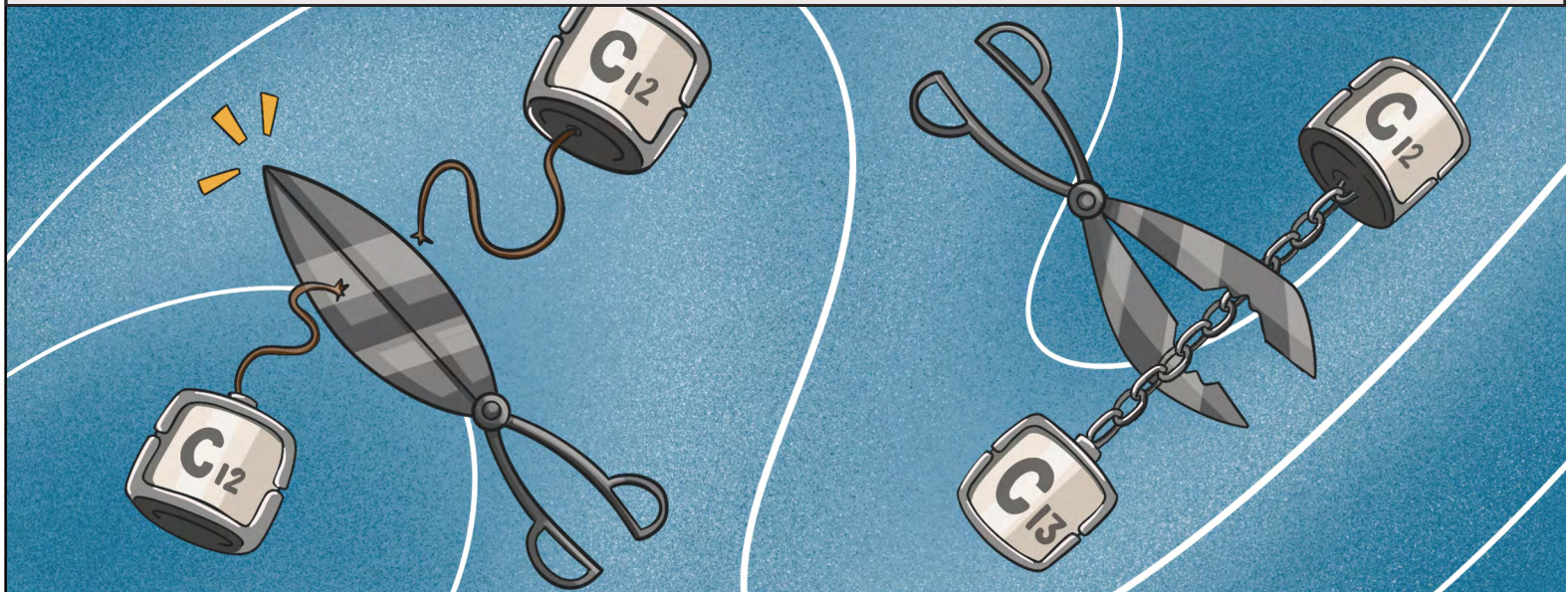
2.3 La mayoría de estos elementos están presentes en la naturaleza al menos en dos formas estables, denominadas isótopos estables, que tienen masas diferentes. Pero, contrariamente a la creencia popular, estos isótopos no son radiactivos y, por tanto, son naturales y no perjudiciales.



2.4 En el caso del carbono, por ejemplo, podemos observar un isótopo ligero de masa atómica 12, muy abundante en la Tierra (99%), y un isótopo más pesado de masa atómica 13, minoritario (1%).

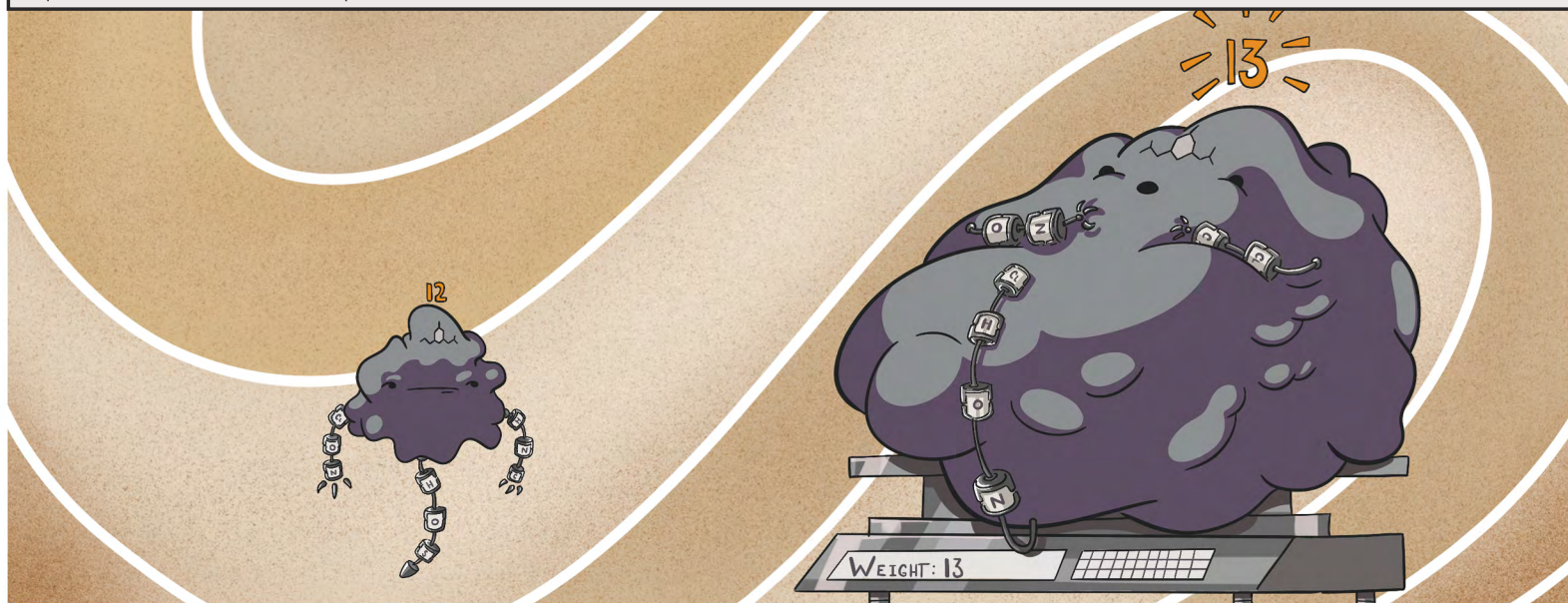


2.5 Los enlaces químicos en una molécula suelen ser algo más estables cuando un isótopo pesado forma parte del enlace.

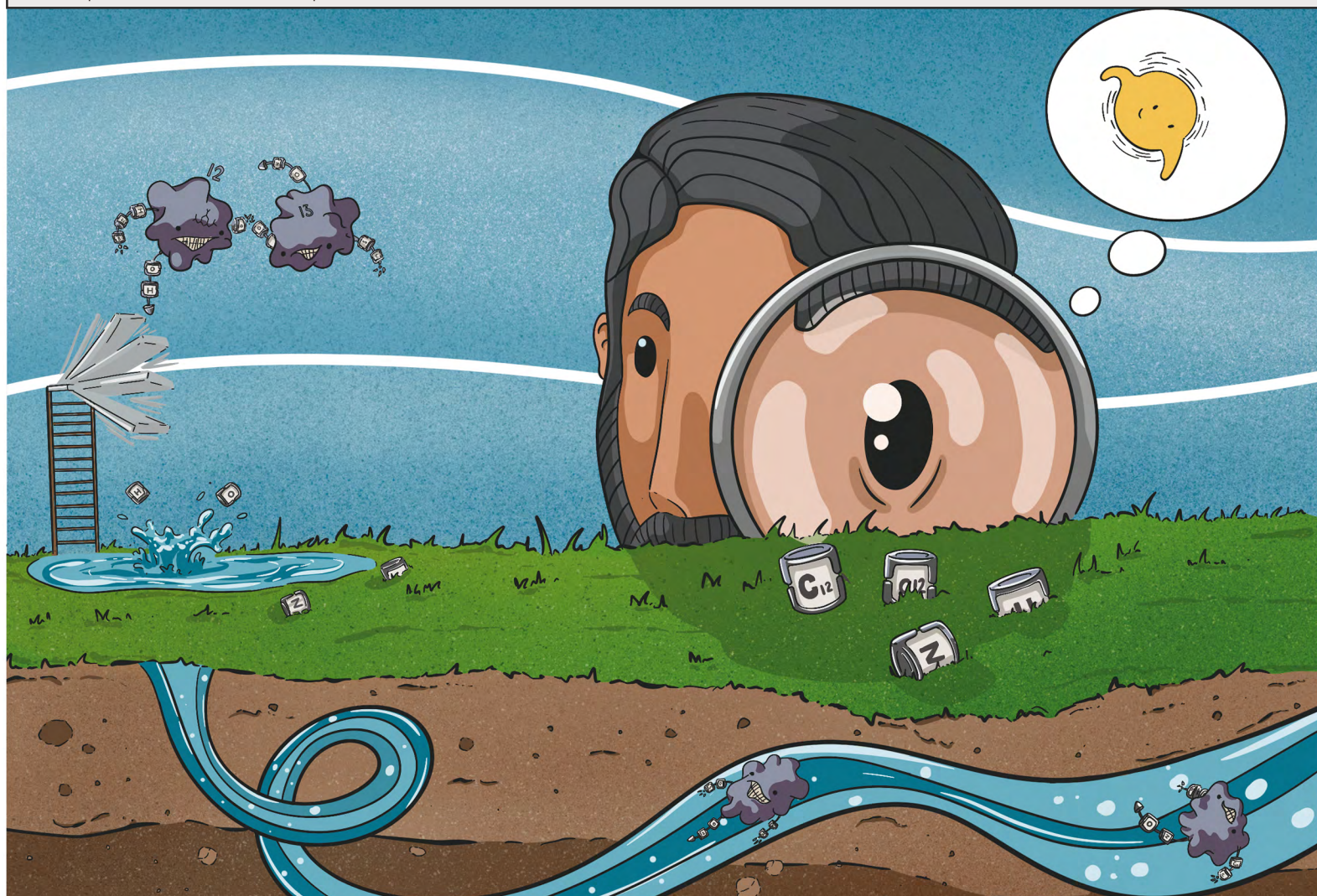


2.6 Los procesos de degradación provocan la apertura de enlaces químicos, por lo que los plaguicidas sin isótopos pesados (con enlaces más débiles) se degradan algo más rápido que los plaguicidas con isótopos pesados (con enlaces más estables).

2.7 Veremos entonces que los plaguicidas que aún no se han degradado en el suelo se vuelven un poco más pesados con el tiempo. Es lo que se denomina enriquecimiento isotópico. Este enriquecimiento puede detectarse mediante un espectrómetro de masas isotópico, un aparato que cuenta los isótopos.

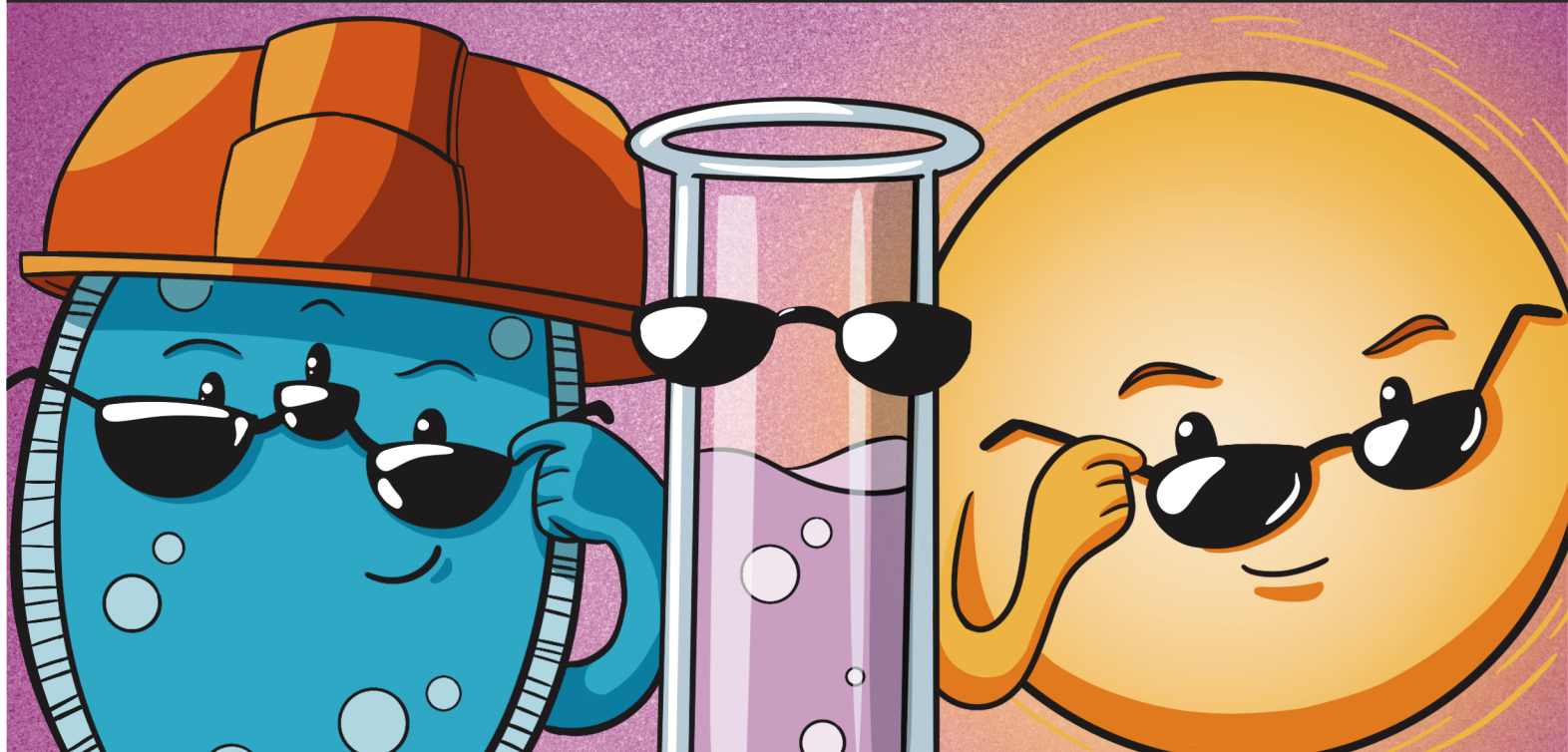


2.8 La volatilización de los plaguicidas y su transferencia al agua no van acompañadas de enriquecimiento isotópico.

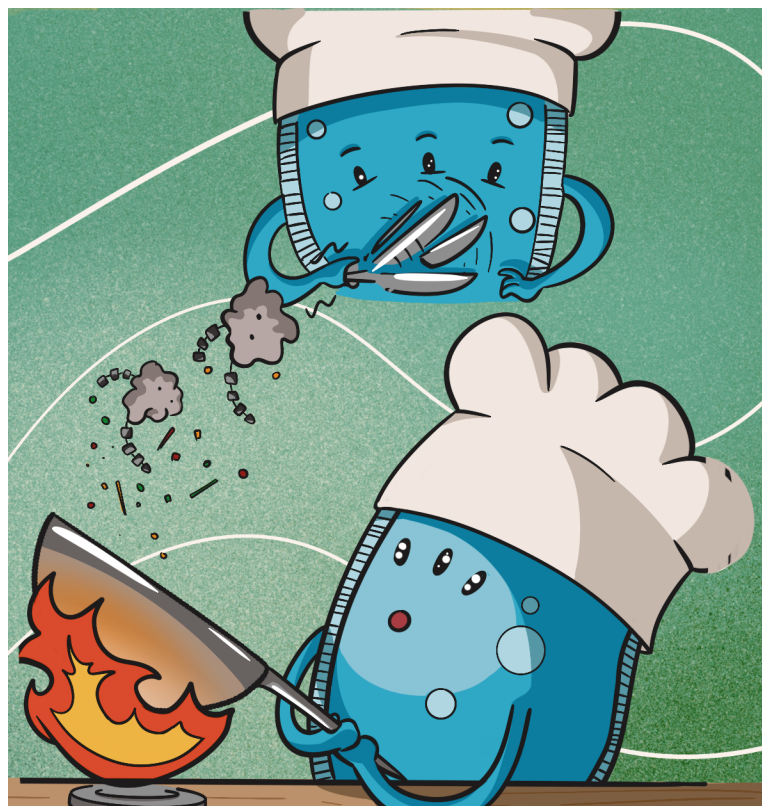
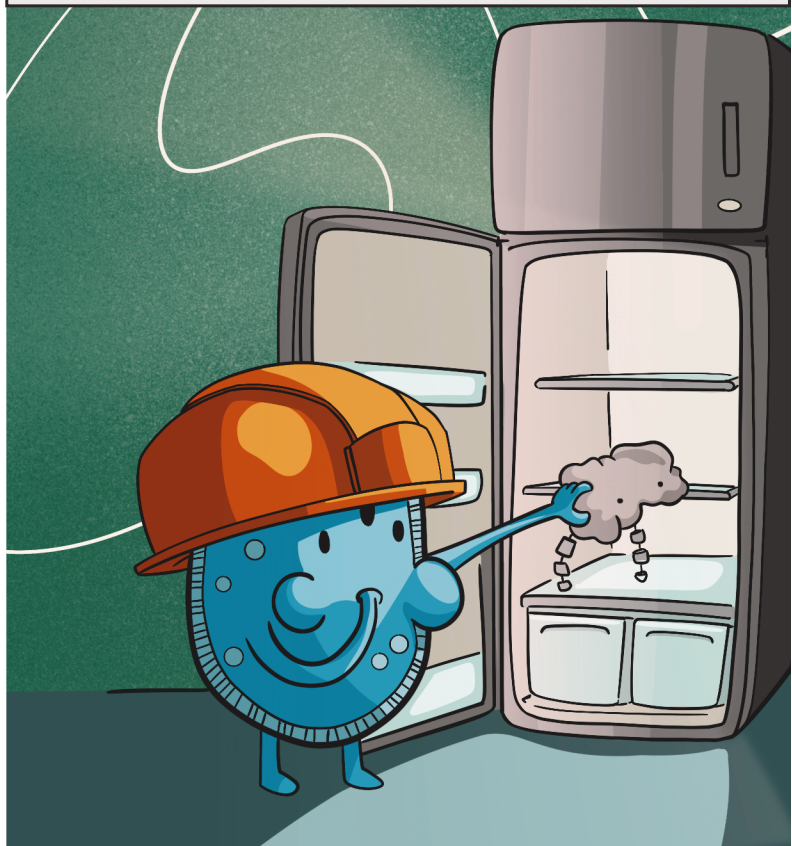


2.9 Si se mide el enriquecimiento isotópico en un suelo, entonces hay pruebas de su degradación. En el capítulo 3 explicaremos un poco más sobre los distintos tipos de degradación.

3.1 En un campo agrícola, pueden estar activos tres tipos de degradación: biodegradación, degradación química abiótica y fotodegradación. Es importante diferenciar estos procesos porque las vías de transformación y, por tanto, los productos de transformación generados suelen ser diferentes.

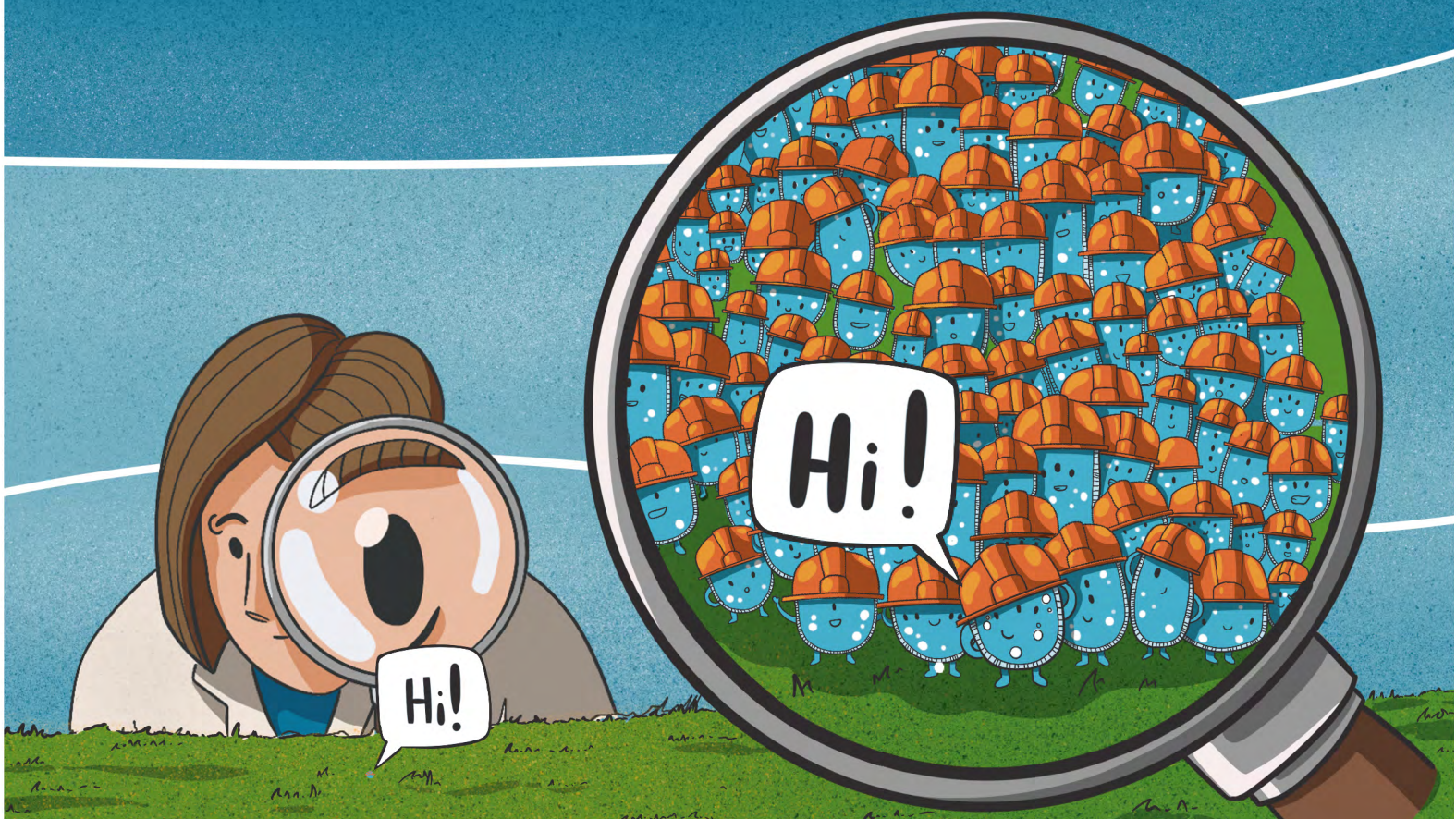


3.2 La biodegradación la realizan principalmente las bacterias, ya sea por la ruta co-metabólica o por la ruta metabólica. El plaguicida se utiliza como fuente de energía y/o como fuente de nutrientes como el nitrógeno, el azufre y el fósforo.

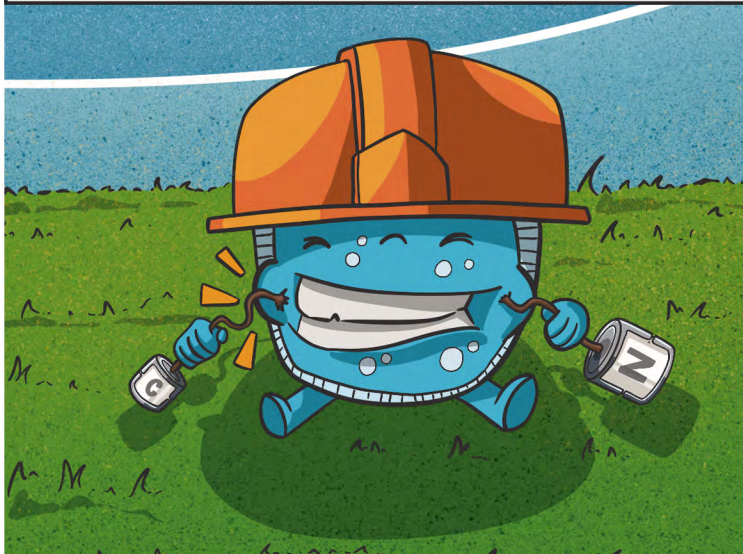


3.3 Para ello, las bacterias deben adaptarse reclutando genes que codifican enzimas. Se trata de proteínas que catalizan las etapas de la degradación. Como los plaguicidas son sustancias no naturales, el proceso de adaptación es a veces muy largo para que se establezca la biodegradación.

3.4 Un gramo de suelo puede albergar miles de millones de bacterias, y se desconoce cuántas especies diferentes pueden encontrarse en él. Hay muchas posibilidades de que entre ellas una población de bacterias adquiera los medios para consumir el plaguicida como fuente de nutrientes para su crecimiento.



3.5 Si todo va bien, la biodegradación bacteriana proseguirá y los plaguicidas restantes en el suelo se enriquecerán en isótopos pesados. Esto puede observarse incluso para varios elementos diferentes de la molécula (por ejemplo, carbono (C-13 frente a C-12) y nitrógeno (N-15 frente a N-14)). Esto se denomina enriquecimiento isotópico multielemental.

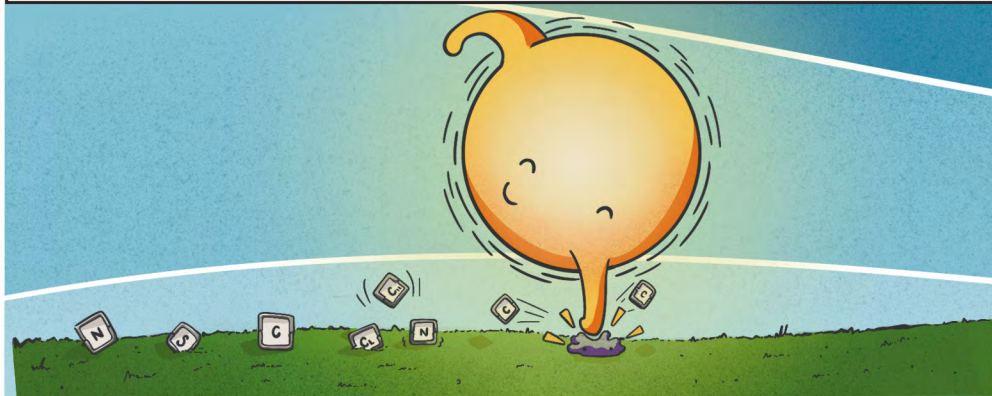


3.6 Pero a veces las bacterias no pueden adaptarse y crear enzimas para descomponer los plaguicidas. Esto se ha observado, por ejemplo, en el caso de determinados plaguicidas que tienen átomos de cloro en su molécula. En este caso, los plaguicidas persisten y no hay enriquecimiento isotópico vinculado a la biodegradación.

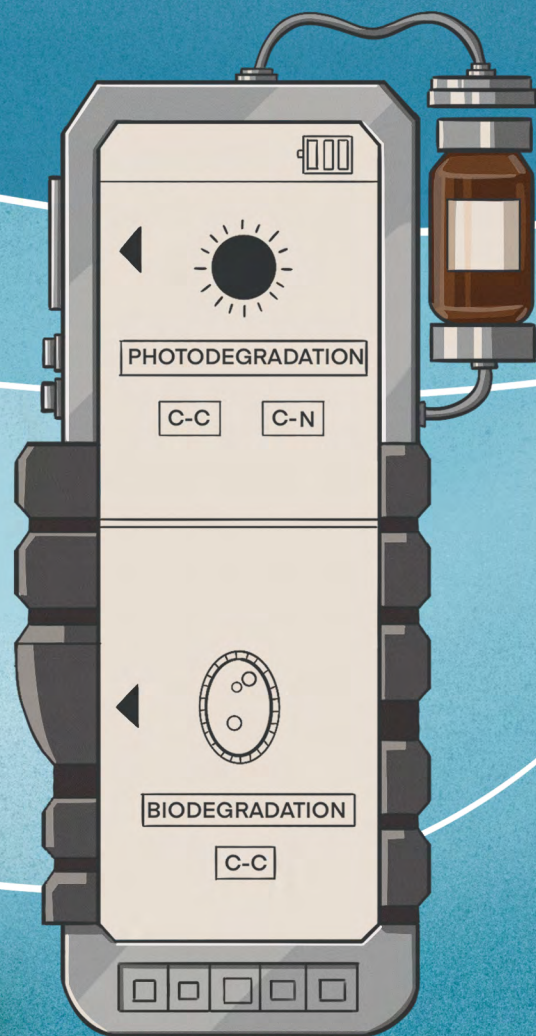
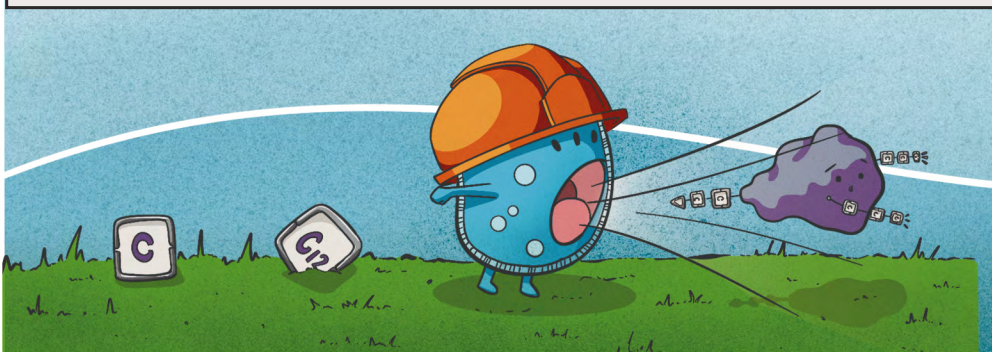
3.7 Según el plaguicida de que se trate, aunque es menos habitual, la degradación química abiótica puede ser el principal proceso de degradación en un suelo. Por ejemplo, los minerales de hierro del suelo pueden reaccionar con los plaguicidas clorados, lo que puede eliminar átomos de cloro de la molécula.



3.8 La degradación abiótica puede inducir diferentes enriquecimientos en comparación con la biodegradación en los plaguicidas restantes. Por ejemplo, puede crearse un enriquecimiento en carbono, mientras que el enriquecimiento en nitrógeno podría ser nulo.



3.9 Si este es el caso, podemos utilizar la herramienta isotópica para distinguir entre biodegradación y degradación abiótica. O entre estos dos procesos y la fotodegradación, gracias a un enriquecimiento incluso diferente.



3.10 Los investigadores de DECISIVE han creado una base de datos que comunica información cuantitativa sobre cómo influye cada proceso de degradación de plaguicidas en el enriquecimiento de los isótopos de cada elemento.



DECISIVE



3.12 Gracias a ello, en el futuro podremos comprender mejor el destino de los plaguicidas en los suelos.