

ANÁLISIS CIENTÍFICO Y REGULATORIO

El espejismo de la detoxificación

Lo que un estudio de 2026 con trazadores isotópicos revela sobre la persistencia de las micotoxinas, las alegaciones de procesado y la divergencia regulatoria UE–UK–EE. UU.

José M. López, BSc, MD, PhD, LLD (C)

Resumen

Un estudio de septiembre de 2026 utilizó trazadores isotópicos de carbono-13 y espectrometría de masas de alta resolución para seguir la aflatoxina B1 y las fumonisinas durante la fabricación, a escala piloto, de pasta de maíz sin gluten. No detectó productos de transformación confirmados dentro del alcance de detección del método, cuestionando la suposición de que el procesado térmico ordinario destruye de forma fiable estos contaminantes. El problema de fondo no es únicamente la persistencia de las toxinas, ya que las reducciones aparentes de los compuestos parentales medidos pueden reflejar dilución, redistribución física, extracción incompleta, transformación química o puntos ciegos analíticos, ninguno de los cuales demuestra por sí solo una reducción del riesgo toxicológico. Este artículo propone un marco de verificación del destino durante el procesado que separa cumplimiento legal, transformación molecular, exposición y peligro biológico. Compara los límites de contaminantes de la UE y la prohibición de la detoxificación química deliberada de alimentos con su vía diferenciada y autorizada de evaluación para piensos, el marco divergente de Gran Bretaña y el enfoque estadounidense basado en niveles orientativos para fumonisinas. Asimismo, identifica prioridades de investigación para micotoxinas modificadas, ingredientes emergentes de proteína vegetal y validación industrial basada en evidencia.

PALABRAS CLAVE: *Micotoxinas; aflatoxina B1; fumonisinas; trazado isotópico; micotoxinas modificadas; validación de procesos; derecho alimentario; alimentación animal*

CATEGORÍA: *Seguridad alimentaria · Contaminantes químicos · Asuntos regulatorios*

SEO SLUG: *espejismo-detoxificacion-micotoxinas-trazado-isotopico-legislacion-alimentos-piensos*

META DESCRIPTION: *Nuevas investigaciones con trazadores isotópicos cuestionan las alegaciones de detoxificación de micotoxinas y revelan diferencias clave entre UE, Reino Unido y EE. UU.*

ETIQUETAS INTERNAS: *Micotoxinas · Química analítica · Tecnologías de procesado · Contaminantes alimentarios · Derecho de la UE · Seguridad de piensos · Proteínas vegetales · Investigación emergente*

1 | La señal inadvertida de septiembre de 2026

El 11 de septiembre de 2026, Rollo y colaboradores publicaron en Journal of Mass Spectrometry un estudio especialmente ilustrativo. Siguieron la aflatoxina B1 (AFB1) y las fumonisinas B1 y B2 (FB1 y FB2) durante la fabricación de pasta de maíz sin gluten, combinando trazadores controlados marcados isotópicamente con cromatografía líquida-espectrometría de masas de alta resolución (LC-HRMS). La cuestión no era simplemente si disminuía la toxina parental medida, sino si podían identificarse productos químicos derivados cuando el alimento se sometía a etapas de fabricación tecnológicamente realistas. [1]

Los investigadores elaboraron pasta a partir de harina de maíz contaminada experimentalmente y de material contaminado de forma natural. El proceso incluyó hidratación, calentamiento, conformado, secado y cocción. En las condiciones estudiadas no se detectó ningún producto de degradación o conversión de AFB1 por encima del límite de detección analítico. Apareció una señal putativa de muy baja intensidad relacionada con fumonisinas, pero su patrón isotópico no cumplió los criterios de confirmación de los autores. En consecuencia, el estudio tampoco estableció ningún producto de transformación de fumonisinas confirmado. [1]

La interpretación correcta es específica y prudente: estas toxinas mostraron una estabilidad comparativamente elevada en las condiciones de procesamiento ensayadas, dentro de la sensibilidad y el alcance de los métodos empleados. El estudio no demuestra que la degradación sea imposible en todas las condiciones de procesamiento. No establece una estabilidad universal frente a extrusión, cocción alcalina, tostado, fermentación o tratamiento químico. Tampoco demuestra que un metabolito no detectado esté necesariamente ausente. [1]

¿Por qué constituye esto una cuestión de actualidad para la industria? Porque los proveedores de ingredientes y tecnologías alimentarias presentan cada vez más el procesamiento como una vía para reducir contaminantes, mientras que los reguladores exigen resultados específicos de la matriz, analíticamente válidos y jurídicamente significativos. La distancia entre un pico cromatográfico más bajo y un alimento más seguro sigue siendo uno de los puntos ciegos más relevantes de la innovación moderna en procesamiento de alimentos.

2 | Lo que realmente demostró el experimento

El proceso piloto importa. Los investigadores hidrataron harina de maíz, calentaron la masa hasta que su interior alcanzó aproximadamente 75 °C, secaron la pasta a temperaturas de hasta 80 °C y la cocieron en agua hirviendo durante siete minutos. El diseño de fortificación incluyó AFB1 y fumonisinas uniformemente marcadas con carbono-13, que pueden seguirse mediante desplazamientos de masa característicos. El pequeño tamaño de los lotes experimentales y el número limitado de réplicas técnicas restringieron la certeza cuantitativa; los autores subrayaron expresamente la identificación cualitativa, y no una tasa definitiva de destrucción para el conjunto del proceso. [1]

Un detalle relevante es que la fortificación experimental con AFB1 de 65 µg/kg superaba el nivel máximo ordinario de la UE para numerosos productos a base de cereales. Esa elevada carga experimental fue una decisión de diseño analítico, no un ejemplo de ingrediente comercial legalmente comercializable. La harina contaminada de forma natural utilizada en un ejercicio separado de confirmación también era material de investigación, no un producto cuya aptitud para la comercialización hubiese quedado demostrada. [1,4]

La principal aportación científica es, por tanto, metodológica y puede expresarse así: el emparejamiento isotópico permite preguntar si una señal procede del contaminante diana y no de la matriz alimentaria circundante. No constituye un certificado general de detoxificación. Tampoco un cribado no dirigido negativo demuestra que se hayan descartado todos los productos de reacción concebibles.

3 | Primer error categorial: concentración no es masa de contaminante

La concentración de una toxina suele expresarse en microgramos por kilogramo de alimento muestreado. El procesamiento modifica el denominador. La hidratación añade agua; el secado la elimina; la cocción puede transferir componentes solubles al líquido que se desecha y la extrusión puede modificar la *extractabilidad*. Por tanto, comparar concentraciones antes y después del procesamiento no constituye un balance de masas completo.

Considérese un ejemplo ilustrativo, no experimental. Un kilogramo de materia prima contiene 100 µg de una toxina. Si se añaden 0,5 kg de agua y la toxina permanece íntegramente en la masa, la concentración pasa a ser de unos 66,7 µg/kg, aunque los 100 µg originales sigan presentes. Se ha producido una reducción nominal de concentración del 33 % sin detoxificación alguna. A la inversa, el secado puede aumentar la concentración por kilogramo manteniendo inalterada la masa absoluta de toxina.

Un estudio de procesamiento defendible debería informar, cuando sea factible, tanto de la concentración como de la cantidad total de cada analito en cada corriente de material. Debería contabilizar agua y sólidos, rendimiento del producto, finos, fracciones de piel o salvado, aguas residuales y otras pérdidas. Si la masa de toxina abandona la fracción comestible, el proceso puede reducir la exposición del consumidor; determinar si ello constituye una eliminación legalmente permitida o genera una corriente de residuos peligrosos es una cuestión distinta.

La distinción esencial se establece entre reducción de la concentración medida, reducción de la molécula parental recuperable, reducción del material total derivado de la toxina y reducción del peligro biológico. Son cuatro criterios de valoración diferentes.

4 | Segundo error categorial: la pérdida del compuesto parental no demuestra detoxificación

Una toxina parental puede desaparecer de un ensayo dirigido por al menos cinco razones distintas: ha sido eliminada físicamente; se ha repartido hacia otra fase; ha cambiado su recuperación durante la extracción; ha reaccionado formando un compuesto modificado; o la medición analítica original se ha visto afectada por efectos de matriz, variabilidad del muestreo o censura por debajo del límite de cuantificación.

Solo algunos de estos mecanismos reducen el peligro que alcanza al consumidor. La eliminación física puede ser eficaz cuando la fracción contaminada se segrega de forma segura. La transformación química puede reducir o no la toxicidad. La unión a almidón o proteína puede disminuir la recuperación del analito libre y, sin embargo, conservar la posibilidad de liberación posterior durante la digestión. La supresión analítica puede generar una mejora aparente que no es real.

La expresión «detoxificación» debería reservarse, por tanto, para evidencias de que se ha reducido un peligro toxicológico relevante, y no simplemente para demostrar que ha disminuido una señal analítica seleccionada. El tratamiento jurídico preciso de cualquier intervención depende de si se trata de un alimento o un pienso, de la sustancia y matriz afectadas y del mecanismo pretendido. [4,6,8]

5 | Micotoxinas modificadas, ocultas y ligadas a la matriz no son sinónimos

La evaluación de EFSA sobre fumonisinas proporciona una taxonomía útil. Las fumonisinas modificadas han experimentado un cambio en su estructura química: entre los ejemplos se incluyen derivados hidrolizados, parcialmente hidrolizados, N-carboximetilados y N-desoxifruktosilados, así como aductos covalentes. Por el contrario, las formas asociadas a la matriz mediante interacciones no covalentes pueden describirse como formas ocultas sin estar necesariamente modificadas químicamente. La distinción importa porque extracción, hidrólisis y digestión pueden afectar de manera diferente al resultado analítico. [2]

Algunas fumonisinas modificadas han mostrado menor potencia que el compuesto parental en los estudios evaluados por EFSA, pero los datos disponibles no fueron suficientes para incorporar las formas modificadas a la ingesta diaria tolerable de grupo para FB1-FB4. EFSA identificó incertidumbres

sustanciales relativas a presencia, toxicocinética y toxicidad. Por ello sería inexacto afirmar que todas las fumonisinas modificadas presentan la misma toxicidad o que todas son inocuas. [2]

Es precisamente aquí donde un marketing acrítico se vuelve peligroso. «No se detecta fumonisina parental» es una afirmación analítica. «No existe un peligro relevante por fumonisinas» es una conclusión toxicológica mucho más amplia que requiere evidencia independiente.

6 | Aflatoxinas y fumonisinas no son peligros intercambiables

La AFB1 es un potente peligro carcinogénico genotóxico y está regulada a concentraciones muy bajas en numerosos alimentos. Las fumonisinas presentan un perfil toxicológico diferente, con la inhibición de la ceramida sintasa como elemento central de su mecanismo y con importantes efectos específicos según la especie animal. Una alegación universal de «detoxificación de micotoxinas» oculta estas diferencias. [2,3,4]

Incluso dentro de una misma familia de toxinas, el alcance analítico varía según la jurisdicción. En la UE, los niveles máximos de fumonisinas para los alimentos de maíz pertinentes se expresan generalmente como la suma de FB1 y FB2, mientras que la guía de la FDA estadounidense utiliza la suma de FB1, FB2 y FB3 para los productos de maíz comprendidos en ella. Un mismo resultado no puede presentarse automáticamente como prueba de conformidad en ambos marcos. [4,9]

La validación del procesado debería comenzar por definir el analito diana. ¿Qué moléculas se incluyen? ¿Qué fumonisinas? ¿Qué formas modificadas? ¿Qué protocolo de extracción? ¿Qué límites analíticos? ¿Qué mercado de destino? Sin estas respuestas, un porcentaje de reducción tiene escaso significado transferible.

7 | La frontera del Derecho alimentario europeo es más nítida de lo que muchos innovadores creen

En la Unión Europea, el Reglamento (UE) 2023/915 de la Comisión establece niveles máximos para determinados contaminantes en categorías alimentarias específicas, incluidas aflatoxinas y fumonisinas. La categoría jurídica, el destino del producto, su estado de transformación y, en ocasiones, determinadas condiciones de composición determinan qué nivel máximo resulta aplicable. El Reglamento es directamente aplicable en España y en los demás Estados miembros de la UE; las autoridades competentes garantizan su cumplimiento mediante controles oficiales. [4,5]

El artículo 4 reviste especial importancia, ya que los alimentos que contengan contaminantes enumerados en el anexo I no podrán someterse deliberadamente a tratamientos químicos de detoxificación. Esta prohibición no debe confundirse con una prohibición general de la cocción ordinaria, del procesado alimentario autorizado, de la selección legal o de otras medidas físicas. Tampoco debe inferirse que un «neutralizador de micotoxinas» químico no autorizado pueda convertir en comercializable un material no conforme simplemente porque un laboratorio informe de un pico más bajo de la toxina parental. [4]

El artículo 3 regula la aplicación de los niveles máximos a alimentos desecados, diluidos, transformados y compuestos, así como la justificación de los factores de concentración, dilución o transformación. El artículo 5 establece condiciones para determinados productos destinados a selección u otro tratamiento físico antes de su comercialización final. Estas disposiciones convierten la evidencia de balance de masas y la correcta categorización en cuestiones de cumplimiento jurídico, no meramente de preferencia analítica. [4]

El Reglamento de Ejecución (UE) 2023/2782 de la Comisión establece los requisitos de muestreo y análisis para el control oficial de micotoxinas. La consecuencia práctica es que incluso un experimento interno científicamente sofisticado no sustituye un muestreo representativo, una validación adecuada ni el método de comprobación de conformidad legalmente aplicable. [7]

8 | La asimetría del Derecho en relación con los piensos: existe una vía controlada de detoxificación

Una diferencia llamativa es que el Derecho de la UE sobre alimentación animal contiene una vía específica para evaluar procesos de detoxificación. La Directiva 2002/32/CE regula las sustancias indeseables en la alimentación animal. El Reglamento (UE) 2015/786 de la Comisión establece criterios de aceptabilidad para determinados procesos físicos, químicos y microbiológicos de detoxificación aplicados a piensos no conformes, con evaluación científica de EFSA y controles de las autoridades competentes. [8]

Para los procesos químicos, el Reglamento exige pruebas de eficacia e irreversibilidad, ausencia de residuos nocivos de la sustancia de tratamiento, ausencia de productos peligrosos de reacción del contaminante y ausencia de alteraciones perjudiciales de las características del pienso. Los procesos microbiológicos están sujetos a requisitos equivalentes respecto de metabolitos, organismos supervivientes y destino del agente de tratamiento. [8]

Esto no constituye autorización para tratar cualquier pienso contaminado con cualquier reactivo. Se trata de una vía regulada y específica para cada proceso, sujeta a condiciones y requisitos de autorización. Del mismo modo, la existencia de una vía para piensos no autoriza el mismo proceso en alimentos. Ambos regímenes persiguen objetivos de salud pública relacionados, pero imponen condiciones jurídicas diferentes. [8]

Para las empresas activas tanto en ingredientes para alimentación humana como en nutrición animal, la clasificación según el uso del producto debe preceder, por tanto, a cualquier propuesta experimental o comercial de detoxificación.

9 | Gran Bretaña ya no es un espejo regulatorio de la UE

El Reino Unido debe analizarse territorialmente. En Gran Bretaña, el marco aplicable a contaminantes se basa en legislación asimilada, incluida la versión GB del Reglamento (CE) n.º 1831/2003 modificada internamente. Irlanda del Norte sigue, con carácter general, el marco pertinente de la UE con arreglo a los acuerdos de Windsor. Un estudio de Food Standards Scotland de mayo de 2026 compara expresamente las posiciones de GB y UE/Irlanda del Norte. [10]

Ese estudio señala que varios niveles máximos coinciden para aflatoxinas y fumonisinas, mientras que existen diferencias en otros ámbitos, entre ellos deoxinivalenol, toxinas T-2/HT-2, alcaloides del cornezuelo y determinadas toxinas vegetales. Sería engañoso afirmar tanto que todos los límites del Reino Unido han divergido como que el Reino Unido sigue aplicando íntegramente el actual Reglamento (UE) 2023/915. La evaluación correcta debe ser específica por analito, alimento y territorio. [10]

La consecuencia comercial es sencilla: un expediente técnico de la UE no puede limitarse a re-etiquetarse como «conforme en Reino Unido». Para GB deben comprobarse las disposiciones asimiladas y nacionales pertinentes; para Irlanda del Norte debe examinarse separadamente la posición de la UE.

10 | Estados Unidos utiliza un instrumento distinto para el control de fumonisinas

La U.S. Food and Drug Administration publica niveles orientativos para fumonisinas totales en determinados alimentos de maíz destinados al consumo humano y en piensos. La guía de 2001 continúa figurando como expresión del criterio actual de la FDA y declara expresamente que constituye una orientación no vinculante, no un reglamento. Por ejemplo, recomienda 2 ppm de fumonisinas totales (FB1+FB2+FB3) para determinados productos de maíz desgerminado y molido en seco y 4 ppm para determinados productos de maíz entero o parcialmente desgerminado y molido en seco. [9]

Estas cifras no deben confundirse con los niveles máximos jurídicamente vinculantes y específicos por producto de la UE, ni aplicarse indiscriminadamente a todos los alimentos derivados del maíz. El programa más amplio de control de micotoxinas de la FDA aborda asimismo aflatoxinas, deoxinivalenol, ocratoxina A y otros peligros. [9,11]

Por tanto, un certificado destinado a operaciones transfronterizas debe especificar la definición del analito, las unidades, la matriz, la categoría de producto, el instrumento regulatorio aplicable y si el valor indicado constituye un máximo obligatorio o una orientación de la autoridad.

11 | Por qué el estudio de 2026 sobre proteínas vegetales amplía la cuestión

Una segunda fuente de 2026 extiende la relevancia del problema más allá de la pasta de maíz. En mayo, Food Standards Scotland publicó un estudio de contaminantes químicos en productos de proteína vegetal, que abarcó productos con proteínas de guisante, soja y trigo y empleó un amplio panel analítico. El estudio identifica expresamente lagunas en los niveles máximos específicos por materia prima para algunas matrices de proteína vegetal y distingue esas lagunas del deber general y permanente de comercializar alimentos seguros. [10]

Esto importa para polvos hiperproteicos, proteínas texturizadas, análogos cárnicos y formulaciones nutricionales. Las nuevas categorías de ingredientes pueden concentrar componentes de las materias primas, modificar la eficiencia de extracción y combinar contaminantes procedentes de varias fuentes agrícolas. Un nivel máximo legal establecido para una materia prima cerealista no puede trasladarse mecánicamente a una formulación proteica compuesta; las normas aplicables y los deberes generales de seguridad alimentaria deben evaluarse sobre el producto real. [4,10]

La implicación estratégica no es que las proteínas vegetales sean intrínsecamente inseguras. Es que la expansión de la innovación proteica debe ir acompañada de una caracterización proporcionada de contaminantes, en lugar de presumir que un procesado novedoso reduce automáticamente los peligros de origen agrícola.

12 | El error de muestreo puede imponerse a la sofisticación analítica

Las micotoxinas suelen distribuirse de forma heterogénea dentro de un lote. Un reducido número de granos contaminados o un crecimiento fúngico localizado pueden producir una elevada variabilidad entre muestras. Un instrumento de resolución ultra-alta no puede corregir una muestra no representativa.

La jerarquía es, por tanto: definición del lote; diseño del muestreo; homogeneización de la muestra; validación de la extracción; especificidad analítica; estimación de la incertidumbre; y regla de decisión. El muestreo para controles oficiales conforme al Reglamento (UE) 2023/2782 está diseñado para abordar estos problemas de representatividad. [7]

Un ensayo piloto de procesado debería documentar si el mismo material original se distribuyó entre grupos de tratamiento y control, si las masas de muestra fueron suficientes, si se replicaron las etapas de procesado y si se corrigió la humedad. Sin esos datos, una reducción aparente del 20 % o del 40 % puede quedar dentro de la variabilidad experimental ordinaria.

13 | Cuatro ventanas analíticas complementarias

La LC-MS/MS dirigida es indispensable para la cuantificación rutinaria de toxinas parentales reguladas específicas, con recuperaciones y límites de cuantificación validados en la matriz pertinente. Responde a una cuestión de conformidad delimitada.

La LC-HRMS no dirigida o de cribado de sospechosos puede buscar productos inesperados, aunque la detección de una señal no establece por sí sola la identidad química. Los experimentos con trazadores de isótopos estables pueden aportar pruebas más sólidas de que una nueva señal procede de un precursor tóxico determinado, pero la interpretación sigue dependiendo de la pureza isotópica, los contaminantes de fondo, los umbrales de detección y los criterios de confirmación. [1]

Los experimentos de hidrólisis o digestión pueden revelar formas asociadas a la matriz que la extracción rutinaria subestima. Sin embargo, la hidrólisis también puede generar artefactos analíticos o convertir especies durante la preparación; los métodos requieren controles independientes. [2]

Por último, los ensayos toxicológicos deben abordar el peligro que realmente se afirma haber reducido. Una disminución analítica no sustituye un criterio biológico adecuadamente diseñado. Ningún ensayo por sí solo proporciona las cuatro respuestas.

14 | Oportunidad de Investigación e Innovación: Verificación del Destino en el Procesado

PROBLEMA NO RESUELTO. Los estudios de procesado de alimentos informan con frecuencia de cambios en la concentración de la micotoxina parental sin explicar por completo adónde fue el material derivado de la toxina ni si se redujo el peligro. El estudio de septiembre de 2026 muestra tanto las posibilidades como los límites del seguimiento basado en isótopos. [1]

POR QUÉ IMPORTA. Una alegación engañosa de reducción puede alterar la aceptación de proveedores, la liberación de producto, la exposición del consumidor y las decisiones regulatorias. A la inversa, una eliminación física científicamente válida o una optimización del proceso pueden infravalorarse si los investigadores informan únicamente de la concentración.

QUÉ SE CONOCE YA. La LC-HRMS con isótopos estables se ha aplicado al destino de las micotoxinas; EFSA ha revisado las fumonisinas modificadas y ocultas; y el Derecho de la UE ya exige justificar factores de transformación en los contextos pertinentes. Estos elementos no son invenciones nuevas. [1,2,4]

QUÉ SIGUE SIN CONOCERSE. Para numerosas matrices y procesos industriales siguen incompletos los mapas validados y específicos del destino de cada toxina, así como los datos toxicológicos sobre productos de transformación presentes a bajos niveles. La evidencia pública disponible no establece un método cuantitativo universal de balance de masas adecuado para todos los procesos y contaminantes.

HIPÓTESIS PROPUESTA. Un protocolo escalonado de verificación que combine balances de materiales corregidos por humedad, LC-MS/MS de la toxina parental, cribado de transformaciones asistido por isótopos, análisis dirigido de formas modificadas conocidas y criterios toxicológicos pertinentes podría discriminar la reducción real del riesgo de la desaparición analítica con mayor fiabilidad que los ensayos centrados únicamente en el compuesto parental.

VÍA DE DESARROLLO. Seleccionar una materia prima y una familia de toxinas; establecer la varianza basal del muestreo; cartografiar todas las corrientes de material; realizar ensayos piloto controlados en condiciones realistas; cuantificar recuperación y reparto; identificar especies modificadas plausibles; comprobar si la digestión libera la toxina parental; comparar criterios toxicológicos cuando esté científicamente justificado; y repetir en lotes y laboratorios independientes.

RESTRICCIONES REGULATORIAS. El protocolo es una herramienta de I+D, no un sustituto de los niveles máximos legales. En alimentos de la UE, la detoxificación química deliberada de los contaminantes del anexo I continúa prohibida por el artículo 4 del Reglamento 2023/915. En piensos, cuando resulte aplicable su ámbito, rige el régimen de autorización separado del Reglamento 2015/786. [4,8]

RELEVANCIA INDUSTRIAL. Un marco satisfactorio podría mejorar la validación de procesos, la cualificación de proveedores, los expedientes técnicos y la credibilidad de las alegaciones de reducción de contaminantes. Inicialmente debe considerarse un estándar de evidencia propuesto, no una tecnología patentada ni singularmente novedosa.

15 | Una segunda oportunidad: el ensayo de liberación desde la matriz

Una cuestión importante aún no resuelta es si una disminución de la fumonisina extraíble con disolventes va acompañada de una reducción de la cantidad liberada en condiciones gastrointestinales fisiológicamente pertinentes. Un contaminante asociado a la matriz puede ser menos extraíble en el laboratorio y, aun así, contribuir a la exposición tras la digestión. EFSA ha reconocido la distinción entre fumonisinas modificadas y ocultas y la incertidumbre sobre su toxicología. [2,3]

Un estudio específico podría comparar extracción convencional, digestión enzimática, hidrólisis controlada y cuantificación dirigida de metabolitos sobre la misma muestra procesada, utilizando patrones marcados isotópicamente y blancos adecuados. La hipótesis sería que algunos procesos modifican más la extractabilidad aparente que la carga realmente bioaccesible. Para cualquier ingrediente concreto, esto sigue siendo una hipótesis hasta su comprobación experimental.

En sistemas proteicos de cereales y leguminosas, la cuestión es especialmente relevante porque la agregación térmica, las interacciones proteína–almidón y las matrices ricas en fibra pueden modificar la extracción y la liberación digestiva. No debe inferirse ninguna conclusión cuantitativa general sin evidencia específica de la matriz.

16 | El pienso no es un destino de menor exigencia para alimentos contaminados

Una tentación comercial habitual consiste en redirigir a alimentación animal material alimentario que incumple una especificación de contaminantes. Esto no es automáticamente legal ni seguro. Los piensos tienen sus propios límites para sustancias indeseables, vulnerabilidades específicas según la especie y restricciones a la comercialización y utilización de materiales no conformes. [3,8]

La evaluación de EFSA sobre fumonisinas en piensos identificó una preocupación particular para los cerdos en escenarios de exposición relevantes, lo que ilustra que las especies animales difieren sustancialmente en susceptibilidad. La guía británica sobre piensos de junio de 2026 recomienda revisar los programas analíticos y ampliar la vigilancia de tricotecenos menos conocidos, distinguiendo al mismo tiempo los límites legales vinculantes para AFB1 de los valores orientativos para otras micotoxinas. [3,12]

Por tanto, la vía de alimentación animal exige una cualificación jurídica y toxicológica independiente. Nunca debe describirse como una solución genérica de eliminación para un lote de alimento humano no conforme.

17 | La trampa de la innovación: «ingrediente detoxificante» es una alegación, no un mecanismo

La literatura comercial agrupa a menudo adsorbentes, aglutinantes, enzimas, sistemas minerales, ácidos orgánicos, microorganismos y tecnologías térmicas bajo una única etiqueta de detoxificación. Sus mecanismos pueden ser fundamentalmente diferentes.

Un adsorbente puede reducir la bioaccesibilidad sin disminuir la concentración del contaminante en el conjunto del pienso. Un proceso microbiano puede transformar una toxina, pero dejar metabolitos que deben evaluarse. Un proceso de separación puede eliminar una fracción contaminada y, al mismo tiempo, generar subproductos peligrosos. Un tratamiento del agua de proceso puede controlar microorganismos y, sin embargo, no tener ningún efecto demostrado sobre micotoxinas preexistentes en un ingrediente.

Por tanto, el expediente técnico pertinente debería definir el uso previsto en alimento/pienso; toxina y especies diana; mecanismo; matriz; condiciones de tratamiento; criterio medido; destino de los subproductos; seguridad de los residuos; reproducibilidad independiente; y vía jurídica. Alegaciones amplias como «neutraliza todas las micotoxinas» deben considerarse científicamente sospechosas si no existe una amplia evidencia específica para cada toxina.

18 | Implicaciones prácticas para la industria y los operadores

Para una empresa de ingredientes y tecnología alimentaria que trabaja con cereales, cacao, especias, ingredientes proteicos, alimentos para animales de compañía y tecnologías de procesado, la principal oportunidad reside en reforzar la inteligencia sobre el riesgo de contaminantes, no en añadir indiscriminadamente una nueva alegación de detoxificación.

En primer lugar, las especificaciones de materias primas deberían definir el panel correcto de toxinas según la materia prima y el mercado de destino. Los materiales derivados del maíz pueden requerir controles de

fumonisinias y aflatoxinas; otros cereales, especias y cacao presentan peligros relevantes y categorías jurídicas diferentes. La presencia de un contaminante determinado en una materia prima no debe extrapolarse automáticamente a otra. [4,11]

En segundo lugar, un expediente técnico debe diferenciar la eficacia de control microbiano de la reducción de micotoxinas. Por ejemplo, la evidencia de que un producto actúa sobre insectos, bacterias o microbiología del agua de proceso no demostraría, sin ensayos específicos, la degradación de AFB1 o fumonisinias. Esta distinción protege tanto la credibilidad científica como la posición regulatoria.

En tercer lugar, si una empresa explora una auténtica tecnología de eliminación o mitigación de contaminantes, el desarrollo debe avanzar por etapas separadas: viabilidad analítica; mecanismo; validación del proceso; clasificación jurídica; implantación industrial; y solo entonces análisis económico. Ningún porcentaje de eficacia ni alegación comercial debería preceder a evidencia reproducible y específica de la matriz.

En cuarto lugar, los expedientes de proveedores pueden incluir una «declaración sobre el destino durante el procesado» que especifique si cualquier reducción alegada deriva de selección, separación, dilución, transformación u otro mecanismo, con una descripción clara de lo que se ha medido. Se trata de una oportunidad de diferenciación modesta, pero práctica.

19 | Un marco de decisión para compras, I+D y asuntos regulatorios

Antes de aceptar una tecnología propuesta para mitigar micotoxinas, una revisión multidisciplinar debería responder siete preguntas.

IDENTIDAD — ¿Qué toxina parental y qué formas modificadas se incluyen? ANALÍTICA — ¿Está validado el método para la matriz real de alimento o pienso? BALANCE DE MASAS — ¿La reducción afecta a la concentración o a la masa derivada de la toxina? MECANISMO — ¿Adónde fue el material y están caracterizados los productos de reacción? TOXICOLOGÍA — ¿Se ha demostrado una reducción del peligro, en lugar de presumirla? LEGALIDAD — ¿Está permitida la intervención prevista en la jurisdicción y categoría de producto de destino? REPRODUCIBILIDAD — ¿Respaldan el resultado lotes independientes y condiciones industriales realistas?

Una respuesta negativa no invalida siempre una I+D exploratoria. Sí invalida una conclusión comercial no matizada. El marco de decisión pretende evitar que una observación prometedora de laboratorio se confunda con una tecnología preparada para su aceptación regulatoria.

20 | Conclusiones: de «menos detectable» a «demostrablemente más seguro»

El estudio de septiembre de 2026 con trazadores isotópicos es importante precisamente porque no produjo una alegación espectacular de detoxificación. En condiciones piloto realistas de elaboración de pasta, no encontró productos de transformación confirmados de AFB1, FB1 o FB2 dentro del alcance analítico empleado. Ese resultado negativo es científicamente útil: limita las suposiciones sobre lo que consigue el procesado rutinario. [1]

La lección más amplia es metodológica y jurídica. Concentración no es masa. La desaparición del compuesto parental no implica necesariamente transformación. La transformación no implica necesariamente detoxificación. Cumplir la definición de analito de una jurisdicción no equivale a cumplir en todos los mercados. Y la vía regulada de la UE para la detoxificación de piensos no debe confundirse con su prohibición de la detoxificación química deliberada de alimentos que contienen contaminantes enumerados. [2,4,8,9]

Para la industria, el próximo avance no será la alegación porcentual de reducción más persuasiva. Será la cadena de evidencia más defendible que conecte destino del material, identidad molecular, exposición del consumidor o del animal, relevancia toxicológica y autorización legal.

Un proceso alimentario no debería calificarse de más seguro simplemente porque la toxina resulte más difícil de medir. Debería calificarse de más seguro cuando el peligro relevante se haya reducido de forma demostrable y legal.

Áreas de conocimiento relacionadas

Seguridad alimentaria · Tecnologías de procesado · Ingredientes funcionales · Nutrición animal · Asuntos regulatorios · Biotecnología · Investigación emergente. Los enlaces internos deberían distinguir el control validado de contaminantes de la investigación propuesta sobre su destino durante el procesado; aquí no se atribuye eficacia específica frente a micotoxinas a ningún producto.

Estado de la evidencia y editorial

Evidencia establecida: estudio primario de procesado de 2026; dictámenes toxicológicos de EFSA; legislación de la UE en vigor; materiales regulatorios oficiales de GB, UE y EE. UU. Evidencia emergente: aplicación del trazado isotópico a matrices industriales realistas y vigilancia más amplia de contaminantes en proteínas vegetales durante 2026. Interpretación experta: necesidad de separar concentración, destino molecular, exposición y situación jurídica. Hipótesis y propuestas: Verificación escalonada del Destino en el Procesado y ensayo de liberación desde la matriz; ninguna se presenta como invención patentada novedosa ni como estándar industrial validado.

Nota de alcance: situación científica y jurídica evaluada a octubre de 2026. Antes de adoptar una decisión de conformidad, los límites específicos por producto y las modificaciones nacionales deben comprobarse en los últimos textos oficiales consolidados.

Referencias y fuentes primarias

- [1] Rollo E, Schamann A, Doppler M, Malachová A, Krska R, Suman M. Fate of Aflatoxins and Fumonisin During Gluten-Free Pasta Processing: Untargeted ¹³C-Labeling LC-HRMS Based Approach. *Journal of Mass Spectrometry*. First published 11 September 2026;61(10):e70106. DOI: 10.1002/jms.70106. <https://doi.org/10.1002/jms.70106>
- [2] EFSA CONTAM Panel. Appropriateness to set a group health-based guidance value for fumonisins and their modified forms. *EFSA Journal*. 2018;16(2):5172. DOI: 10.2903/j.efsa.2018.5172. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5172>
- [3] EFSA CONTAM Panel. Risks for animal health related to the presence of fumonisins, their modified forms and hidden forms in feed. *EFSA Journal*. 2018;16(5):5242. DOI: 10.2903/j.efsa.2018.5242. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5242>
- [4] European Commission. Commission Regulation (EU) 2023/915 on maximum levels for certain contaminants in food. Consolidated version current in August 2026; Articles 3–5 and Annex I. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/915/eng>
- [5] European Commission. Contaminants in food: legislation and maximum levels. Official European Commission food-safety portal. https://food.ec.europa.eu/food-safety/chemical-safety/contaminants/legislation_en
- [6] European Commission. Contaminants in food: overview and prevention principles. Official European Commission food-safety portal. https://food.ec.europa.eu/food-safety/chemical-safety/contaminants_en
- [7] European Commission. Commission Implementing Regulation (EU) 2023/2782 on sampling and analysis for the control of mycotoxins in food. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2023/2782/oj/eng
- [8] European Commission. Commission Regulation (EU) 2015/786 defining acceptability criteria for detoxification processes applied to animal feed; read with Directive 2002/32/EC. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2015/786/oj/eng>
- [9] U.S. Food and Drug Administration. Guidance for Industry: Fumonisin Levels in Human Foods and Animal Feeds. November 2001; current FDA guidance listing accessed 8 October 2026. <https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/guidance-industry-fumonisin-levels-human-foods-and-animal-feeds>
- [10] Food Standards Scotland / Fera Science. Chemical Contaminants in Plant Based Protein Survey. Published 25 May 2026; especially introduction and comparative GB–EU/NI regulatory table. <https://www.foodstandards.gov.scot/science-and-evidence/chemical-contaminants-in-plant-based-protein-survey/section-2>
- [11] U.S. Food and Drug Administration. Mycotoxins. FDA food-contaminant topic page, updated 2026. <https://www.fda.gov/food/natural-toxins-food/mycotoxins>

- [12] UK Government / Food Standards Agency. Raising awareness and mitigation of the potential risk of mycotoxins in animal feed. Published 25 June 2026. <https://www.gov.uk/government/publications/raising-awareness-and-mitigation-of-the-potential-risk-of-mycotoxins-in-animal-feed/raising-awareness-and-mitigation-of-the-potential-risk-of-mycotoxins-in-animal-feed>
- [13] European Commission. Undesirable substances in animal feed: Directive 2002/32/EC and detoxification acceptance framework. https://food.ec.europa.eu/food-safety/animal-feed/undesirable-substances_en
- [14] Food Standards Scotland / Fera Science. Chemical Contaminants in Plant Based Protein Survey: Analytical Methodology. Published 25 May 2026. <https://www.foodstandards.gov.scot/science-and-evidence/chemical-contaminants-in-plant-based-protein-survey/section-4>

© 2026 José M. López · Todos los derechos reservados.