



Retrasos biológicos y dinámica del mercado en cadenas de suministro alimentario coordinadas verticalmente

cadenas alimentarias: Impactos de la IAAP en los precios de los huevos en EE.UU.



James L. Mitchell^{a,*}, Jada M. Thompson^a, Trey Malone^b

^a Departamento de Economía Agrícola y Agronegocios, División de Agricultura de la Universidad de Arkansas, Estados Unidos

^b Departamento de Economía Agrícola, Universidad de Purdue, Estados Unidos

ARTÍCULO IN F O

Códigos JEL:

P11

P13

P18

Palabras clave:

Dinámica de la cadena de

suministro Precios al por

menor de los huevos

Retrasos biológicos

Gripe aviar

ABSTRACTO

Es bien sabido que la producción ganadera implica largos rezagos biológicos. Si no se tienen en cuenta estos retardos biológicos, pueden producirse errores en la especificación de las relaciones de la cadena de suministro y en los ajustes a las perturbaciones del mercado, lo que puede tener implicaciones significativas para las decisiones políticas. Un ejemplo es el acontecimiento de la gripe aviar altamente patógena (IAAP) de 2022, que causó altas tasas de mortalidad en las cadenas de suministro avícolas nacionales y redujo la producción de huevos. Utilizamos el evento de la IAAP de 2022-2023 para destacar las implicaciones de una mala especificación de la dinámica de la enfermedad en los sistemas agroalimentarios. En concreto, examinamos el impacto de la IAAP en los precios de los huevos en EE.UU. en 2022-2023. Para ello, estimamos un modelo hedónico de los precios minoristas del huevo que controla los factores de calidad, regionales y temporales. El modelo permite que el efecto de la IAAP sobre los precios de los huevos se acumule con el tiempo, reflejando el ajuste biológico para reemplazar las manadas comerciales que se despoblaron a causa de la IAAP. Las especificaciones preferidas del modelo estiman que la IAAP hizo que los precios semanales al por menor de los huevos aumentaran una media del 5,3%. Calculamos los cambios en el excedente del consumidor para proporcionar un contexto económico a los principales resultados econométricos. Cuando extendemos estos resultados al *superávit* del consumidor, encontramos que los modelos que ignoran la naturaleza acumulativa de la IAAP estiman ganancias en el superávit del consumidor, y los modelos que ignoran la recuperación de los inventarios de ponedoras tras el brote sobreestiman la pérdida de superávit del consumidor en un factor de tres a cuatro. Nuestras conclusiones tienen importantes implicaciones políticas, sobre todo en lo que respecta a los brotes de enfermedades que pueden afectar significativamente a la producción agrícola. Este análisis subraya la importancia de comprender los resultados específicos del contexto para la investigación de la cadena de suministro agroalimentaria.

1. Introducción

Determinar los impactos de las perturbaciones del mercado en los sistemas agroalimentarios requiere una comprensión exhaustiva de las cadenas de suministro agroalimentarias y de sus numerosos factores interconectados. No representar con precisión estas complejas relaciones puede dar lugar a una especificación errónea que afecte significativamente a la precisión de las predicciones de precios y producción a la hora de estimar el tamaño y el alcance de las perturbaciones verticales (Wahdat y Lusk, 2023). Por extensión, la literatura reciente sobre la cadena de suministro alimentario ha explorado en profundidad la relación entre la estructura del mercado y la resistencia del sistema alimentario (Hadachek et al., 2024; Karakoc et al., 2023; Stevens y Teal, 2023). Las limitaciones biológicas de la producción ganadera y avícola derivadas de los brotes de enfermedades son una dimensión importante que ha recibido menos

énfasis en la bibliografía sobre la resistencia de la cadena de suministro y, sin embargo, tiene implicaciones significativas para la comprensión de la dinámica de la cadena de suministro. ¹Esto es especialmente cierto dada la actual preocupación mundial por la peste porcina africana y la fiebre aftosa. De hecho, estudios previos indican que las enfermedades infecciosas como el brote estadounidense de 2013 del virus de la diarrea epidémica porcina en la industria porcina pueden aumentar significativamente los precios al consumidor, lo que subraya la importancia de la bioseguridad para los productores porcinos (Schulz y Tonsor, 2015; Pudenz et al., 2019).

El brote de gripe aviar altamente patógena (IAAP) de 2022 en la producción avícola estadounidense ilustra de forma conmovedora la importancia de las alteraciones biológicas imprevistas en la capacidad de recuperación de la cadena de suministro, ya que el índice de precios al consumo (IPC) de los huevos aumentó un 66,5% menos de un año después del primer brote notificado en febrero de 2022 (Subramaniam et al., 2023). Este

* Autor correspondiente en: 217 Agriculture Building, Fayetteville, AR 72701, Estados Unidos.

Dirección de correo electrónico: jlmitch@uark.edu (J.L. Mitchell).

¹ Existe una larga historia de literatura que investiga las consecuencias de las limitaciones biológicas sobre la producción agrícola (por ejemplo, Nerlove, 1979). Esta

bibliografía se centra sobre todo en las expectativas de precios y los mecanismos de ajuste de la cadena de suministro, que a menudo adoptan la forma de un modelo de retardo distribuido, similar a los estudios anteriores sobre la transmisión de precios en los mercados agrícolas (von Cramon-Taubadel y Goodwin, 2021). La epidemiología y los efectos retardados de las enfermedades del ganado añaden una arruga a estos modelos tradicionales que ha sido ignorada en su mayor parte.

<https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2024.102655>

Recibido el 8 de septiembre de 2023; Recibido en forma revisada el 30 de mayo de 2024; Aceptado el 2 de junio de 2024

Disponible en línea el 13 de junio de 2024

0306-9192/© 2024 Los autores. Publicado por Elsevier Ltd. Este es un artículo de acceso abierto bajo licencia CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

El artículo subraya que la literatura sobre la cadena de suministro se beneficiaría de una comprensión de la relación entre los retardos biológicos de la producción que implican la gestión de los brotes de enfermedades y las repercusiones en los precios. A nuestros efectos, los "retardos biológicos de la producción" se refieren al tiempo que tardan los sistemas de producción agrícola en responder a los cambios en los insumos, como la reproducción animal, el crecimiento de las plantas, el aumento de peso del ganado y la producción de huevos. Comprender la relación entre las enfermedades y los precios al por menor es especialmente importante, ya que los brotes de enfermedades animales pueden, directa e indirectamente, provocar grandes cambios en los precios al consumidor, amenazando la seguridad alimentaria y la asequibilidad (Acosta et al., 2020, 2023; Hennessy y Marsh, 2021; Seeger et al., 2021; Thompson et al., 2019a; Xiong et al., 2021). Este artículo presta especial atención a la importancia de los cambios en el tamaño de las manadas y su efecto retardado en la producción y los precios de los huevos.

Nuestro estudio demuestra que no tener en cuenta los desfases de la producción biológica conduce a modelos que subestiman los impactos de la IAAP en los precios de los huevos. En concreto, estimamos varios modelos econométricos con datos del evento de la IAAP de 2022 y mostramos cómo la especificación errónea se magnifica en el análisis del bienestar. Considerando seis especificaciones alternativas del ajuste biológico a la IAAP, los modelos econométricos estiman una respuesta de los precios que va desde un descenso del 2,76% en los precios de los huevos hasta un aumento del 20,79% en los precios de los huevos. Esta estimación errónea no es una mera preocupación académica; tiene importantes implicaciones políticas que pueden afectar a las decisiones en torno al control de la enfermedad, la regulación del mercado y la respuesta de emergencia en el sector agrícola. De hecho, la variación de la respuesta política puede ser costosa, lo que subraya la importancia de evaluar con precisión las respuestas de los precios a los brotes de enfermedades. A continuación, utilizamos especificaciones de modelos basadas en distintos desfases biológicos para calcular la variabilidad compensatoria, poniendo de relieve la magnitud de las diferencias asociadas a cada modelo mal especificado. Nuestros resultados revelan que la especificación errónea de los rezagos biológicos provoca pérdidas en el excedente del consumidor que se sobreestiman en un factor de 4.

Este análisis pretende fomentar un enfoque matizado de la modelización econométrica de los brotes de enfermedades que reconozca la compleja dinámica biológica en juego. Llegamos a estas conclusiones estimando un modelo de precios hedónicos de los precios al por menor de los huevos que controla los factores de calidad, regionales y temporales. Una de nuestras principales contribuciones es cómo elegimos medir los impactos de la IAAP. Introducimos seis especificaciones alternativas para la IAAP, cada una de las cuales aporta distintas perspectivas sobre los efectos del brote. Las dos primeras especificaciones consideran efectos de una sola semana, captando el impacto de la semana en curso sobre los precios de los huevos. Comparamos nuestros resultados con una variable binaria que denota un brote confirmado y el número total de casos (aves), donde esta última da cuenta del tamaño de la manada. Consideramos que éstas son las especificaciones más ingenuas. A continuación, consideramos los efectos acumulativos de los brotes de IAAP de la semana anterior sin especificar cuándo deberían dejar de afectar a los precios de los huevos. Por último, introducimos los efectos biológicos acumulativos, contabilizando el periodo de ajuste de seis meses necesario para reemplazar una manada despoblada a causa de la IAAP, basándonos en las limitaciones biológicas de la producción comercial de huevos. Nuestro enfoque multifacético nos permite comprender tanto los efectos inmediatos como los retardados de los brotes de IAAP sobre los precios de los huevos, reconociendo la complejidad y los matices de la cadena de suministro agroalimentaria y las realidades biológicas que la rigen.

Esta laguna en la bibliografía subraya la necesidad de modelos más

matizados de la cadena de suministro alimentario, sobre todo porque la frecuencia y el impacto de la aparición y reaparición de enfermedades infecciosas en el sistema agroalimentario pueden aumentar en el futuro (Jones et al., 2008; Wang y Cra-meri, 2014). Varios factores contribuyen a esta perspectiva. A medida que cambian las temperaturas y los niveles de humedad, las enfermedades y los vectores portadores de enfermedades que antes estaban limitados a las zonas tropicales y subtropicales podrían encontrar condiciones y hábitats adecuados en regiones que antes no estaban afectadas o estaban libres de enfermedades, lo que se extendería a los sistemas de producción agrícola (Altizer et al., 2013). La deforestación y los cambios en el uso de la tierra también pueden alterar el hábitat natural de la fauna silvestre, provocando un aumento de las interacciones entre ésta, el ganado y los seres humanos (Keesing et al., 2010). Las prácticas ganaderas intensivas adicionales pueden aumentar entonces el riesgo de enfermedades

J.L. Mitchell et al. transmisión, ya que una vez que se introduce un agente infeccioso, puede propagarse rápidamente debido a la proximidad de los animales (Jones et al., 2013). La expansión del comercio mundial significa que los productos alimentarios, las plantas y los animales se transportan a menudo a grandes distancias, lo que puede introducir patógenos y plagas foráneas en nuevas regiones (Paini et al., 2016; Thompson, 2018).

Una vez destacada esta dinámica en el sistema agroalimentario, el resto de este documento se organiza como sigue. En la sección 2 se describe cómo la organización industrial de la industria de la carne de cerdo de EE.UU. contribuye al impacto de los retrasos biológicos en los precios. Las secciones 3 y 4 describen la metodología y los datos utilizados en nuestro análisis empírico. La sección 5 presenta los resultados de nuestro estudio, ofreciendo pruebas del papel significativo de los retardos biológicos de producción en la estimación de los precios. La sección 6 amplía los resultados económicos a un análisis del bienestar de los consumidores, destacando las implicaciones políticas de nuestro trabajo. Por último, la Sección 7 concluye con recomendaciones para futuros estudios, haciendo hincapié en la necesidad de una comprensión específica del contexto de los sistemas de producción de alimentos para garantizar una estimación precisa de los impactos de diversos insumos en la producción y los precios.

2. Antecedentes

La biología está entrelazada con cualquier cadena de suministro de alimentos, y la avicultura no es diferente. La intensificación de la industria estadounidense de ponedoras comenzó en la década de 1950 con la desagregación de las aves de carne y las de huevos. Este cambio permitió que la selección genética se centrara en las tasas de puesta de huevos y en la comerciabilidad. La producción de huevos se lleva a cabo en naves para ponedoras, instalaciones especializadas que proporcionan ventilación adecuada, espacio y acceso a alimentos y agua. Los tres tipos principales de sistemas de ponedoras son convencionales (en jaulas), en jaulas enriquecidas (más espacio por ave en cada jaula) y sin jaulas. Los huevos producidos en las granjas de ponedoras suelen denominarse huevos con cáscara, en lugar de huevos para incubar (huevos fecundados) que forman parte de la cadena de reposición de las aves. Los huevos con cáscara se desvían a huevos de mesa o huevos de cascarón. Según el Servicio de Comercialización Agrícola del USDA (USDA-AMS), los huevos de mesa representan aproximadamente el 69,0% de la utilización de huevos entre los consumidores minoristas y los servicios alimentarios, mientras que los huevos procesados representan el 29,3% (United Egg Producers, 2024). Los huevos de mesa se inspeccionan, se lavan, se clasifican (por ejemplo, A.A., A o B) y se estuchan. Los huevos de mesa se venden normalmente en puntos de venta al por menor. Los huevos para cascar se cascan y se transforman en productos líquidos, desecados o congelados. Estos productos pueden venderse al por menor, pero a menudo se utilizan como ingrediente en otros productos, como alimentos o manufacturas. Esta cadena de suministro se caracteriza en la Fig. 1. Pequeño

La producción estadounidense de huevos se exporta en un 3-4% (USDA-OCE, 2023), pero esta cantidad ha ido creciendo.

El huevo típico producido en Estados Unidos es un huevo blanco, convencional, puesto predominantemente por gallinas White Leghorn. Las Rhode Island Red producen típicamente huevos marrones. Ambas razas suelen tener la tasa de puesta más alta para su respectivo color de huevo. Las razas de huevos marrones suelen tener una tasa de puesta inferior a las White Leghorn, lo que aumenta el coste de producción de una docena de huevos, explicando el sobreprecio de estos huevos. El contenido del huevo es el mismo independientemente del color de la cáscara. Las diferencias en la alimentación pueden cambiar el contenido de grasa o el color de la yema. Otros factores del mercado son el acceso al exterior en la producción (por ejemplo, gallinas camperas) y el tipo de alimento (por ejemplo, ecológico, alimentación vegana, enriquecido con ácidos grasos Omega 3).

Parte de la cadena de suministro de huevos es el suministro de reposición de ponedoras, que cría aves de reemplazo para las naves de ponedoras durante los periodos comerciales normales y la reposición de emergencia durante las perturbaciones comerciales como la IAAP. La reposición de ponedoras de huevos se caracteriza por líneas genéticas de cría que producen huevos incubables puestos en incubadoras. Las etapas van desde las aves bisabuelas hasta las reproductoras (también llamadas reproductoras), con un número creciente de aves en cada etapa. El vigor híbrido en esta pirámide de cría permite la selección genética de rasgos óptimos. Los huevos de gallina fecundados tardan 21 días en eclosionar una vez puestos. Las aves hembras son transportadas a granjas de pollitas o a un complejo sin jaulas hasta su madurez sexual a las 19-20 semanas de edad. Las pollitas se trasladan a naves de ponedoras y pondrán huevos hasta los 12 ó 15 meses de edad. En ese momento, el productor puede mudar a las aves, lo que detendrá la producción de huevos durante un tiempo limitado, normalmente en torno a las 65 semanas de edad, pero puede prolongar la producción total de huevos hasta que las gallinas tengan entre 18 y 24 meses (unos dos años) (USDA-

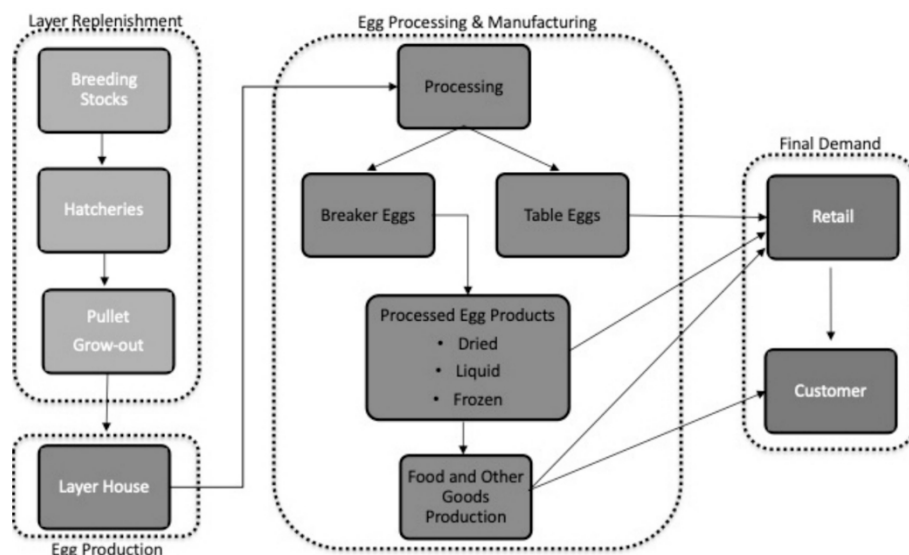


Fig. 1. Cadena de suministro de la industria comercial del huevo en EE.UU.

NAHMS, 2014). Al final de la primera o segunda fase de producción, estas gallinas se venden como gallinas gastadas y se cosechan.

Durante una interrupción de la actividad o un evento de enfermedad como la IAAP, las aves de todos los niveles de la cadena de suministro de producción pueden verse afectadas (Thompson et al., 2019b). Las gallinas ponedoras reducen los niveles de producción, las pollitas de reposición, que pueden ralentizar la capacidad de repoblación, y las aves reproductoras, que influyen en la eclosión de nuevas aves. Además, el retraso biológico para reemplazar las parvadas despobladas por la IAAP dependerá del segmento más afectado por la IAAP. Por ejemplo, el lapso de tiempo será muy diferente para un evento de IAAP que afecte predominantemente a las ponedoras que para un evento que afecte mayoritariamente a las manadas reproductoras. Tener en cuenta los impactos de la cadena de suministro a la hora de entender un evento de enfermedad fuera de los impactos directos sobre las ponedoras, permite una mejor comprensión de los matices de la cadena de suministro.

En cuanto a la estructura del mercado, el USDA-APHIS (2011) y Watt Global Media (2022) ofrecen una descripción completa de la industria. Brevemente, la industria estadounidense del huevo está integrada en gran medida por muchas empresas, pero hay unas pocas de mayor tamaño, como Cal-Maine Foods, Rose Acre Farms y Hilandale Farms, que juntas representan el 30 por ciento de las gallinas producidas en 2022 (Watt Global Media 2022). La mayoría, el 64,4 por ciento, de las granjas son contratadas, en las que la empresa es propietaria de las aves y del alimento y el criador proporciona el edificio, los servicios y la mano de obra (USDA-APHIS, 2011). Es más probable que las granjas más grandes sean propiedad de la empresa, predominantemente para los cascadores en línea y el procesamiento in situ. A lo largo del tiempo se ha producido un aumento de la consolidación en la industria del huevo para tamaños de manada más grandes, por ejemplo, el tamaño medio de las manadas era de 300.000 en 1997 y de 1.200.000 en 2017 (MacDonald, 2020). Esto puede repercutir cuando un local contrae una enfermedad. Los huevos se venden mediante contratos o en el mercado mayorista. Los precios de los huevos que se contratan suelen tener alguna base del precio del contrato derivada del mercado mayorista, sin embargo estos contratos son privados.

3. Métodos

Antes de describir nuestra estrategia empírica, es necesario aclarar la terminología de la literatura epidemiológica. El término *evento de enfermedad* distingue el periodo de tiempo entre el primer y el último

brote de IAAP en 2022. Según las normas internacionales de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OMA), los países y territorios miembros deben notificar los eventos de enfermedad de importancia zoonosana (USDA-APHIS, 2022). La IAAP en 2022 fue un evento de enfermedad notificable. Utilizamos *brote* para referirnos a una bandada de aves infectadas con IAAP (USDA-APHIS, 2014). Mientras que una bandada caracteriza típicamente a todas las aves ubicadas en un gallinero en un momento dado,

A efectos de este documento, consideraremos que todas las aves de un local (por ejemplo, en varias naves) constituyen una manada, ya que la gestión de la enfermedad trata a todas las aves de un local de forma unilateral, independientemente del edificio en el que estuvieran alojadas. *Caso* se refiere a un ave impactada por la IAAP (USDA-APHIS, 2014). El USDA no realiza pruebas de IAAP a todas las aves de una manada. En su lugar, el USDA confirma las infecciones a nivel de bandada. El número de casos es el tamaño de la manada impactada por la IAAP. Las variables que construimos distinguen entre el número de brotes de IAAP y de casos.

3.1. Estrategia empírica

Aproximamos la relación entre los precios nacionales de los huevos y la IAAP con el siguiente modelo lineal:

$$\tilde{Price}_{it} = \beta_0 + \beta HPAI_{it} + \gamma X_{it} + \delta Z_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

donde $\tilde{Price}_{it}$ son los precios al por menor registrados de los huevos del tipo i , donde el tipo se define por una combinación de características de los huevos, y el periodo de tiempo $t = 1, \dots, T$, $HPAI_{it}$ denota una medida de HPAI, X_{it} es un vector de características de los huevos, Z_t es un vector de variables de control variables en el tiempo, incluyendo la mensualidad y la inflación, ε_{it} es el término de error aleatorio, y β_1 es la cantidad de interés.

Con este enfoque, existen dos amenazas principales para la identificación. La primera es que la gripe aviar altamente patógena representa una perturbación descendente de la oferta en el mercado minorista de huevos. Es decir, que los brotes de IAAP no repercuten en la demanda de huevos por parte de los consumidores. Las pruebas de anteriores episodios de IAAP sobre el comportamiento de compra muestran un escaso impacto en la demanda de los consumidores (Beach et al., 2008). Las dos fuentes a través de las cuales la IAAP podría impactar en la demanda de los consumidores son las retiradas de alimentos y la concienciación de los consumidores (Marsh et al., 2004; Lee et al., 2023). Los brotes de IAAP de 2022 y 2023 afectaron a la producción a nivel de granja y no estuvieron relacionados con retiradas de alimentos o contaminación. Por lo tanto, es razonable suponer que la IAAP no afectó a la demanda de los consumidores a través de retiradas de alimentos. En la medida en que la concienciación se traduce en cambios en la demanda, los resultados del Monitor de la Demanda de Carne de la Universidad Estatal de Kansas proporcionan una estimación aproximada de si la IAAP afecta a la demanda de huevos por parte de los consumidores. Los resultados sobre la concienciación de los consumidores entre febrero de 2022 y diciembre de 2022 muestran que, entre 16 cuestiones relacionadas con las proteínas, los consumidores clasifican sistemáticamente la IAAP como una de las menos importantes (Tonsor, 2022). Wang et al. (2024) encuentran una respuesta retardada de la demanda de los consumidores a la IAAP para la carne de pollo de engorde, pero no consideran la demanda de huevos. Tampoco indican a través de qué mecanismo afecta la IAAP a la demanda de los consumidores. Si la concienciación de los consumidores sobre la IAAP influyera en las decisiones de compra, los precios de los huevos bajarían. No controlar la concienciación de los consumidores en el análisis nos llevaría a

subestimar los efectos de la IAAP como choque de la oferta. En la sección de datos, describimos cómo construimos un índice para la concienciación de los consumidores como variable de control.

La segunda es que la $IAAP_t$ mide los impactos de la IAAP en los precios de los huevos independientemente de otras fuentes de inflación de la oferta. Por definición, la IAAP es una fuente de inflación para los precios de los huevos. Al mismo tiempo, durante los brotes de IAAP de 2022 y 2023 el COVID-19 y la guerra de Ucrania probablemente impactaron en los precios de los huevos. Sin controlar adecuadamente estos otros factores, cualquier medida para la $IAAP_t$ captaría los impactos más amplios de la inflación en los precios al por menor de los huevos. Utilizar el Índice de Precios al Consumo (IPC) como variable de control temporal de la inflación (Z_t) sería un error de especificación del modelo, ya que los precios de los huevos están incluidos en el cálculo del IPC. El IPC menos los alimentos y la energía descartaría los factores independientes de la IAAP que podrían estar influyendo en los precios al por menor. Utilizamos el Índice de Precios Pagados por Productos Básicos y Servicios, Intereses, Impuestos y Salarios Agrícolas (PPITW) del USDA-NASS para captar otros factores del lado de la oferta que podrían inflar los precios de los huevos. En la siguiente sección del documento se ofrece más información sobre el PPITW.

3.2. Especificación IAAP

Una de nuestras contribuciones es cómo elegimos especificar la $IAAP_t$ basándonos en los informes de eventos del USDA-APHIS (2023). Las dos primeras variables que construimos permiten que los brotes de IAAP de la semana en curso repercutan en los precios de los huevos de la semana en curso. La primera variable, que denominamos $Manadas_t$, es una variable binaria que es igual a 1 si hubo un brote confirmado de IAAP en una manada comercial de ponedoras en la semana t y a 0 en caso contrario. La segunda variable que construimos es igual al número total de casos de IAAP (aves) durante la semana t . Denotamos esta especificación $Aves_t$. La diferencia entre las dos variables es que $Birds_t$ distingue entre los brotes de IAAP en función del tamaño de las manadas de ponedoras comerciales, mientras que $Flocks_t$ no controla las diferencias en el tamaño de las manadas. $Birds_t$ y $Flocks_t$ no controlan los brotes anteriores.

Muchos investigadores podrían elegir estas especificaciones, que tratan cada brote de IAAP como un choque de mercado discreto y único, porque sería útil desde la perspectiva de un análisis de estudio de eventos (Malone y Lusk, 2016; Malone et al., 2021). Más concretamente, una especificación que trate la gripe aviar altamente patógena como una perturbación discreta y puntual resultaría atractiva para un estimador de diferencias en diferencias. Sin embargo, tal enfoque no funcionará por varias razones:

1. Los efectos de la IAAP son retardados y acumulativos. La cadena de suministro de huevos no arrastra un exceso de capacidad de ponedoras; una nueva manada tarda seis meses en alcanzar la madurez y poner huevos, y cada manada sucesiva que se despobla se suma al impacto sobre los precios de los huevos (USDA-ERS, 2023b).
2. La definición del acontecimiento para un estudio de acontecimientos no está clara. ¿Es la duración del acontecimiento el tiempo transcurrido entre el primer y el último brote? ¿Es cada brote un acontecimiento independiente?
3. Un estudio de eventos necesitaría distinguir los eventos por el tamaño del impacto o la población afectada por la IAAP. Si un estudio de eventos fuera apropiado, necesitaría ponderar cada evento por el tamaño de la manada.

Las siguientes especificaciones de la variable IAAP superan estos retos.

El enfoque adoptado por el USDA-APHIS para controlar y erradicar la IAAP es el sacrificio sanitario (USDA-APHIS, 2022). WOAHP define el

sacrificio sanitario como la despoblación de rebaños y manadas de animales con infección confirmada o sospecha de infección o exposición a la enfermedad (USDA-APHIS, 2022). Cuando hay un caso confirmado de IAAP, se procede a la despoblación de ese rebaño. La producción de huevos de la manada despoblada se pierde permanentemente hasta que pueda ser reemplazada. Esto implica que los brotes previos de IAAP seguirán afectando a los precios de los huevos hasta que la manada afectada sea reemplazada. Cada sucesiva manada despoblada tendrá un efecto aditivo sobre los precios de los huevos.

Las dos especificaciones siguientes permiten que los brotes y casos de IAAP de la semana anterior repercutan en los precios de los huevos de la semana actual. Nos referimos a estas especificaciones como efectos acumulativos (impactos). La primera variable,

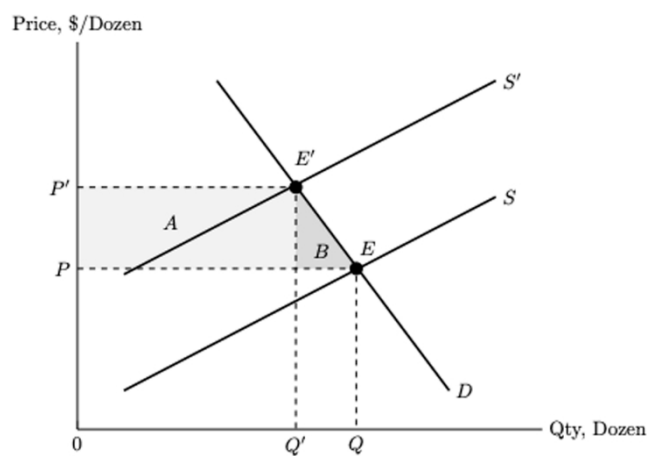
que denotamos, $CFlocks_{it}$, representa el efecto acumulativo del número de bandadas previamente infectadas, sumando hacia atrás desde la semana actual t hasta el primer brote de IAAP notificado. La segunda variable acumulativa se denota $CBirds_{it}$. En lugar de contar el número de manadas, suma el número total de aves individuales afectadas por la IAAP desde el primer brote hasta la presente semana t . Los impactos acumulativos captados por $CFlocks_{it}$ y $CBirds_{it}$ permiten un ajuste en la cadena de suministro derivado de la IAAP. Un problema con estas variables es que no existe ninguna regla sobre cuándo los brotes previos de IAAP deben dejar de afectar a los precios de los huevos.

La cadena de suministro de huevos no tiene un exceso de capacidad de ponedoras. Cuando una manada de ponedoras es despoblada a causa de la IAAP, una nueva manada necesita eclosionar y alcanzar la madurez antes de poder producir huevos. Este proceso dura aproximadamente de 4,5 a 6 meses (USDA-ERS, 2023b). En el caso de la IAAP que afecta a las manadas de ponedoras, esta limitación biológica implica que el ajuste de la cadena de suministro es un total móvil de 6 meses. Esto significa que se necesitan 6 meses para reemplazar una manada de ponedoras despoblada a causa de la IAAP y que cada brote sucesivo es aditivo. Esta regla de ajuste sólo es relevante para las ponedoras. Para un evento de IAAP que afecte predominantemente a granjas de pollitas, el ajuste sería más corto. Basándonos en esta restricción biológica, asumimos que la cadena de suministro tardará seis meses en ajustarse a un brote de IAAP. Llamamos a estas especificaciones efectos biológicos acumulativos (impactos). La primera variable de efecto biológico, denominada $CBFlocks_t$, suma el número de manadas previamente infectadas durante un periodo de 6 meses. Este periodo refleja el ciclo biológico desde que nace una gallina hasta que empieza a poner huevos como ponedora comercial, que es de aproximadamente 6 meses según el USDA-ERS (2023b). Por lo tanto, $CBFlocks_t$ representa el recuento acumulado de manadas infectadas en un periodo de 26 semanas, lo que tiene en cuenta el ciclo de crecimiento biológico de las manadas de reemplazo. La segunda variable, $CBBirds_t$, suma de forma similar el número total de casos de IAAP durante el mismo periodo de 26 semanas. Al considerar el número de casos en lugar del número de manadas, esta variable da cuenta del número total de aves afectadas, incorporando así el tamaño de cada manada. Estas dos variables nos permiten modelizar el periodo de recuperación y ajuste en la cadena de suministro debido al impacto de la IAAP en la producción de huevos.

3.3. Cambios en el excedente del consumidor

Se calculan los cambios en el excedente del consumidor a partir del evento de la IAAP de 2022 basándose en las seis especificaciones de la IAAP para mostrar que la especificación errónea de la cadena de suministro de huevos para proporcionar un contexto económico a los resultados econométricos. ¿Hasta qué punto las diferentes especificaciones para una IAAP dan lugar a diferentes estimaciones para el cambio en el excedente del consumidor? Los procedimientos se basan en Malone y Lusk (2016). La Fig. 2 es un modelo simple del mercado minorista estadounidense de huevos. Tratamos la IAAP como una perturbación de la oferta en el mercado minorista de huevos, que desplaza la curva de oferta de S a S' . Un brote de IAAP provoca un aumento de los precios de los huevos al por menor y una menor disponibilidad per cápita de huevos con cáscara (USDA-ERS, 2023a). El desplazamiento de la curva de oferta tras la IAAP aumenta el precio de los huevos

Fig. 2. Choque de oferta en el mercado minorista de huevos por la gripe aviar de alta trayectoria.



precios de P a P' y disminuye la cantidad de huevos de Q a Q' . El área dada por $A + B$ es el cambio en el excedente del consumidor resultante de la IAAP.

El área en la Fig. 2, dada por $A + B$ se calcula con:

$$\Delta CS = ((P_t' - P_t) \times Q_t') + 0,5((P_t' - P_t) \times (Q_t - Q_t')). \quad (2)$$

En la Ecuación (1), β_1 da el cambio porcentual en los precios al por menor de los huevos para un aumento en el número de brotes de IAAP o de aves afectadas por la IAAP. Utilizando los valores observados para la $IAAP_t$, podemos calcular el cambio porcentual en los precios de los huevos utilizando la Ecuación (1), denotado por $\% \Delta P_t$. El cambio porcentual en el precio se traduce en cambios porcentuales en la cantidad utilizando elasticidades de precio propio de la demanda de huevos al por menor de la literatura (Andreyeva et al., 2010; Okrent y Alston, 2011; Bakhtavoryan et al., 2021).² El cambio porcentual en la cantidad viene dado por $\% \Delta Q = \% \Delta P \times E$, donde E es la elasticidad del precio propio de la demanda de huevos tomada de la bibliografía y $\% \Delta Q$ es el cambio porcentual en la cantidad de huevos. Utilizando los valores pre-HPAI de 2021 para P y Q , calculamos $Q' = (1 + \% \Delta Q) \times Q$ y $P' = (1 + \% \Delta P) \times P$. Juntos, esto nos da toda la información relevante para calcular ΔCS en la Ec. (2).

4. Datos

El objetivo principal de este análisis son los precios de los huevos de mesa al por menor, examinando específicamente su comportamiento antes, durante y después de una gripe aviar altamente patógena.

brote. Para llevar a cabo esta tarea, recopilamos datos semanales del precio regional del huevo del AMS del USDA desde el 7 de enero de 2022 hasta el 16 de junio de 2023 (USDA-AMS, 2023). Nótese que el primer caso de IAAP en un huevo comercial

La operación para el evento de enfermedad más reciente fue el 22 de febrero de 2022, y la última el 20 de diciembre de 2022. Los datos de precios de los huevos del USDA-AMS corresponden a seis regiones de EE.UU. y reflejan una media de las tiendas de comestibles encuestadas cada semana en esas regiones. La descripción de estas regiones figura en la Tabla 1. En los datos, las características de los huevos incluyen la *calidad*, el *color*, el *tamaño* y el *envase*. El grado de calidad y el tamaño se refieren a las normas de clasificación de huevos con cáscara

del USDA. Las diferencias regionales se controlan con variables binarias que denotan cada región en los informes de precios al por menor del USDA-AMS (*Región*). Las variables binarias mensuales controlan la estacionalidad (*Mes*). Incluimos el Índice de Precios Pagados por Productos Básicos y Servicios, Intereses, Impuestos y Salarios Agrícolas (PPITW) como variable de control continua en los modelos para controlar otros factores no relacionados con la IAAP que podrían inflar los precios de los huevos. Los datos para el PPITW se recogen del USDA-NASS. Controlamos la concienciación de los consumidores sobre la IAAP utilizando un índice de Google Trends. La base del índice es enero de 2021 e incluye los términos "gripe aviar", "IAAP" e "influenza aviar". Incluye los términos "gripe aviar", "gripe aviar" y "gripe aviar altamente patógena". Las descripciones de estas variables y sus niveles se encuentran en la Tabla 1. El mecanismo a través del cual la IAAP repercute en los precios de los huevos son las aves y bandadas destruidas para controlar la enfermedad. Estas aves (manadas) que se despoblan repercuten en la producción de huevos, lo que repercute en los precios. El problema es que los precios y las cantidades de huevos podrían determinarse simultáneamente, por lo que la producción de huevos es una variable endógena y no proporcionará los impactos de la IAAP sobre los precios de los huevos. Sin embargo, nuestro enfoque, que mide el número de aves (manadas) despobladas, capta la variación exógena de la producción de huevos relacionada con la IAAP. Además, podemos recuperar la producción de huevos haciendo suposiciones sobre la producción por ave. No podríamos recuperar las aves afectadas por la IAAP si trabajáramos hacia atrás

Cuadro 1

Nombres y descripción de las variables.

Nombre de la variable	Descripción
<i>Precio</i>	Precios medios ponderados semanales de los huevos al por menor (\$ por docena) en dólares nominales
<i>Aves</i>	Número de aves afectadas por la IAAP (millones de aves)
<i>Bandadas (0,1)</i>	= 1 si el brote de IAAP se produjo durante una semana determinada; 0 en caso contrario
<i>CBirds</i>	Número acumulado de aves impactadas por la IAAP (millones de aves)
<i>Cflocks</i>	Número acumulado de manadas impactadas por la IAAP (millones de aves)
<i>CBBirds</i>	Suma móvil de 6 meses de aves afectadas por la IAAP (millones de aves)
<i>CBFlocks</i>	Suma móvil de 6 meses de brotes de IAAP
<i>Color (0, 1)</i>	Color del huevo de cáscara = 1 si es blanco; 0 en caso contrario
<i>Talla (0,1)</i>	Tres variables binarias para la clase de peso de los huevos con cáscara
<i>Medio (0,1)</i>	= 1 si es medio; 0 en caso contrario
<i>Grande (0,1)</i>	= 1 si es grande; 0 en caso contrario
<i>Extragrande (0,1)</i>	= 1 si es extragrande; 0 en caso contrario
<i>Calidad (0,1)</i>	Seis variables binarias para los grados de calidad de los huevos con cáscara y otras características de calidad
<i>A (0,1)</i>	= 1 si grado A; 0 en caso contrario
<i>AA (0,1)</i>	= 1 si grado AA; 0 en caso contrario
<i>Ecológico</i>	= 1 si es ecológico; 0 en caso contrario
<i>Alimentación vegetariana (0,1)</i>	= 1 si alimentación vegetariana; 0 en caso contrario
<i>Sin jaulas (0,1)</i>	= 1 si sin jaulas; 0 en caso contrario
<i>Omega-3 (0,1)</i>	= 1 si omega-3; 0 en caso contrario
<i>Contenedor (0,1)</i>	Tres variables binarias para el tamaño del cartón de huevos con cáscara
<i>Doz (0,1)</i>	= 1 si 1 docena; 0 en caso contrario
<i>1,5 Docena (0,1)</i>	= 1 si 1,5 docena; 0 en caso contrario
<i>2,5 docena (0,1)</i>	= 1 si 2,5 docena; 0 en caso contrario

utilizando la producción de huevos porque son muchos los factores que influyen en la producción. El uso de datos sobre el número de aves y manadas afectadas por la gripe aviar altamente patógena proporciona una medida más precisa de la cantidad de producción de huevos afectada por la IAAP. Incluir las cantidades de huevos en un modelo sería redundante. Como ejemplo sencillo, supongamos que un ave es despoblada a causa de la IAAP. La cadena de suministro de huevos no tiene exceso de capacidad de ponedoras, por lo que se

² Observe que el uso de elasticidades de la demanda al precio propio para el análisis del bienestar no indica una violación de nuestros supuestos de identificación, lo que dice que la gripe aviar altamente patógena no es un choque de la demanda. La gripe aviar altamente patógena es un choque de oferta. Comprender la relación precio-cantidad dada por una elasticidad precio propio de la demanda nos permite cuantificar el movimiento a lo largo de la curva de la demanda tras un desplazamiento de la oferta debido a la IAAP.

<i>J. Madrid et al.</i>	Variables binarias estacionales (referencia abril)
PPITW	Índice de precios pagados por productos básicos y servicios, intereses, impuestos y salarios agrícolas (base = 2011).
Índice de Google	Índice compuesto de Google Trends de EE.UU. para la gripe aviar, la gripe aviar y la gripe aviar altamente patógena. Base = Ene-21.

tardará 6 meses en reemplazar a esa ave. Las ponedoras comerciales producen aproximadamente 285 huevos al año (24 al mes). Así pues, la pérdida de producción de huevos por la IAAP en este ejemplo es de $1 \text{ ave} \times 24 \text{ huevos} \times 6 \text{ meses} = 144 \text{ huevos}$. Nuestras variables de IAAP miden con precisión la disminución de la producción de huevos si asumimos una tasa constante de producción por ave. Las cantidades de huevos proporcionarían una medida imprecisa de los impactos de la IAAP porque son muchos los factores que influyen en la producción de huevos. Además, debemos hacer suposiciones estrictas sobre cuánta producción se sustituye entre la producción de huevos de mesa y la de huevos para casquería porque no hay datos sobre esta sustituibilidad. Por último, que sepamos, no hay datos sobre las cantidades de huevos al por menor. Sin embargo, el informe USDA-NASS Chicken and Egg contiene datos sobre la producción de huevos, y nuestras variables miden directamente el descenso de la producción de ese informe.

Medimos los impactos de la gripe aviar altamente patógena utilizando los datos de casos de gripe aviar altamente patógena de 2022-2023 del tablero de mandos de gripe aviar altamente patógena del Servicio de Inspección de Sanidad Animal y Vegetal del USDA (USDA-APHIS, 2023). Los casos de IAAP se informan por día, tipo de operación, estado y condado. Las operaciones en las que nos centramos en este análisis incluyen las ponedoras de huevos de mesa. La IAAP también afectó a las granjas de reproductoras y pollitas, pero esas operaciones siguen un retraso biológico diferente, y nuestra suposición central de seis meses no funcionaría. Cada observación refleja una confirmación específica de la IAAP en una manada comercial y re- portan el número de aves de esa explotación afectadas por la enfermedad, por lo que nuestras estimaciones tienen en cuenta el número de manadas y aves afectadas por la IAAP en cada región.

Para construir las variables de IAAP retardadas, asumimos que transcurren seis meses desde que el brote de IAAP es detectado y notificado por el USDA-APHIS. Esta suposición se debe a la disponibilidad de datos. Sabemos cuándo informa el USDA de la detección de la enfermedad. No sabemos si el productor y el integrador sabían de la existencia de la IAAP antes de que el USDA la notificara, lo que podría implicar que la cadena de suministro puede empezar a ajustarse antes de que se notifique oficialmente la enfermedad y se despoble la manada.

La tabla 2 resume los casos de IAAP por tipo de manada (USDA-APHIS, 2023). En nuestra muestra, hubo 43,29 millones de casos de IAAP en explotaciones de ponedoras. Esto supone aproximadamente el 97% de los casos que afectaron al suministro de huevos

Cuadro 2

Resumen de casos de IAAP por tipo de bandada, enero 2021-diciembre 2023.

Tipo de manada	Casos de IAAP (Mil. Aves)
Casos de IAAP en reproductoras de huevos	0.12
Casos de IAAP en ponedoras	56.17
Pollitas de huevo Casos de IAAP	2.53
Total de casos de IAAP	58.52

Nota: Casos de IAAP es el número de aves afectadas.

^b Precio medio al por menor de los huevos entre el primer brote de IAAP, el 22 de febrero de 2022, y el último brote de IAAP, en , el 22 de diciembre de 2023.

^c Precio medio al por menor de los huevos tras el brote de IAAP del 22 de diciembre de 2022. Hubo brotes en noviembre de 2023. Los precios al por menor no se incluyeron en las medias posteriores a la IAAP.

cadena durante ese tiempo. Dos de las especificaciones de las variables de la IAAP incluyen un total móvil de 6 meses, que refleja el ajuste a un brote de IAAP: la restricción biológica de 6 meses para reemplazar una manada de ponedoras despoblada. Estas especificaciones sólo son relevantes para las explotaciones de ponedoras. Los datos de la IAAP incluyen casos de reproductoras y pollitas, pero estos casos son un porcentaje tan pequeño del total, que eliminarlos no cambiaría significativamente nuestros resultados. Si los casos de IAAP estuvieran distribuidos de forma más uniforme entre los tipos de manada, entonces sería más apropiado crear variables de IAAP separadas para cada tipo de manada que incluyeran diferentes retardos biológicos, que se ajustaran con precisión a la etapa del ciclo vital en la que la IAAP afectó a esas aves.

La [tabla 3](#) presenta otro resumen de los brotes nacionales de IAAP y el impacto en los precios medios de venta al por menor de los huevos desde enero de 2021 hasta junio de 2023. La tabla informa del número total de casos de IAAP, brotes y casos por brote. El evento de IAAP de 2022 impactó a 44,43 millones de aves en operaciones comerciales de huevos, lo que refleja aproximadamente el 14,5 por ciento de los inventarios de ponedoras del 1 de enero ([USDA-NASS, 2023](#)). Hubo 37 brotes de IAAP con un tamaño medio de manada de 1,2 millones de aves ([Tabla 3](#)). Durante el brote de IAAP, los precios medios de los huevos al por menor aumentaron de 2,34 \$/docena a 3,04 \$/docena o un 30%. Después de la IAAP aumentaron un 45% respecto a los niveles anteriores. Esto sugiere que el impacto de la IAAP en los precios de los huevos no se disipa inmediatamente después de un brote. Por el contrario, el efecto es más duradero, lo que aporta pruebas preliminares a nuestro argumento de los retardos biológicos. Sin controlar otras perturbaciones de la oferta y fuentes de inflación, no sería apropiado atribuir todo el aumento del precio de los huevos a la IAAP.

5. Resultados

En esta sección, presentamos resultados para mostrar cómo una especificación errónea de la cadena de suministro de huevos puede conducir a resultados engañosos y, quizás, incorrectos sobre los efectos de la IAAP en los precios al por menor de los huevos. En primer lugar, discutimos los resultados de la regresión para los modelos lineales que incluyen diferentes especificaciones para la IAAP durante el evento de la enfermedad de 2022-2023. Se realizan comparaciones entre las diferentes especificaciones. Ampliamos nuestro análisis al mercado regional del huevo, proporcionando una discusión más matizada sobre los impactos de la IAAP y

Cuadro 3

Resumen de brotes de IAAP en explotaciones de ponedoras y precios al por menor de los huevos, enero 2021 - dic 2023.

	Nacional
Aves (mil.)	58.52
Bandadas	55.00
Aves por bandada (mil.)	1.07
Precio del huevo (\$/dz.)	
Pre IAAP ^a	2.34
Durante la IAAP ^b	3.01
Post IAAP ^c	3.24

^a Precio medio al por menor de los huevos antes del primer brote de IAAP el 22 de febrero de 2022.

las implicaciones para el bienestar de los consumidores. Esto proporciona la transición para la siguiente sección, que amplía los resultados del modelo a un análisis del bienestar de los consumidores.

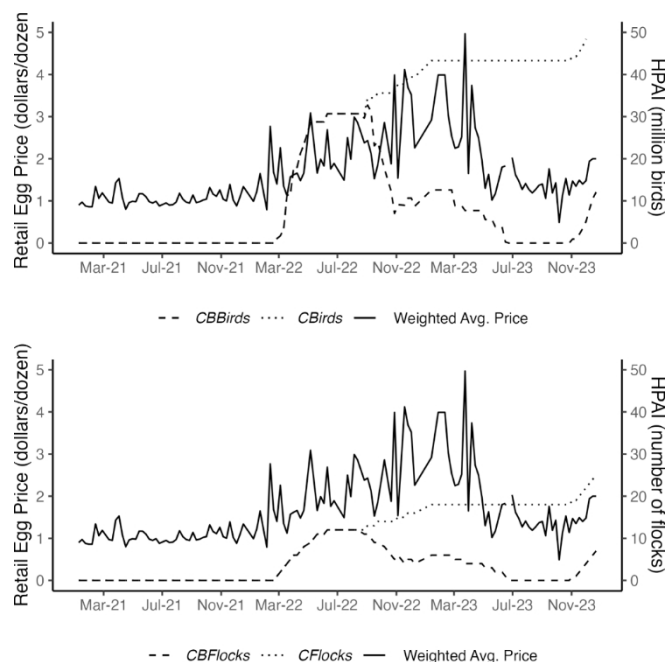
Antes de pasar a los resultados econométricos, la Fig. 3 representa gráficamente los precios medios semanales nacionales de los huevos frente a las cuatro especificaciones de la IAAP que incorporan efectos acumulativos. Las variables del panel superior miden el número de casos de IAAP, y las del panel inferior, el número de brotes. En ambos casos, la Fig. 3 ilustra cómo, sin un desfase biológico, las variables acumulativas no captan el descenso de los precios de los huevos tras los brotes. Esto implica que *Cflocks* y *Cbirds* podrían sobreestimar los impactos de la IAAP sobre los precios de los huevos y requerir una decisión ex-post sobre cuándo los impactos acumulativos dejan de afectar a los precios de los huevos.

5.1. Resultados econométricos

Se tarda aproximadamente entre 4,5 y 6 meses en reemplazar una manada que se despobla a causa de la IAAP (USDA-ERS, 2023b). Dos de nuestras especificaciones de variables consideran este ajuste retardado, *CBBirds* y *CBFlocks*. Consideramos 4, 5 y 6 meses para las longitudes de retardo y basamos nuestra selección de retardo en *r*-cuadrado, el criterio de información de Akaike y el criterio de información bayesiano. Los resultados para las tres longitudes de retardo se recogen en la tabla A.1. Cada uno de los tres criterios selecciona una longitud de retardo de 6 meses. Utilizamos un desfase de 6 meses para el resto de los modelos y la discusión de los resultados.

La tabla 4 presenta los resultados de nuestros modelos que miden los impactos de la IAAP con el número de casos confirmados de IAAP (aves). Las estimaciones para *Aves*, una de las variables que miden la IAAP como impacto de una sola semana, muestran que los precios de los huevos disminuyen un 3,6% cuando las infecciones de IAAP aumentan en 1 millón de aves. Las estimaciones para las *Aves C* muestran que acumulativamente, a medida que el número de casos de IAAP aumenta en 1 millón, los precios al por menor de los huevos aumentan un 0,60%. Incorporando la biología con un desfase de seis meses, la estimación para *CBBirds* dice que los precios de los huevos aumentan un 0,30% cuando el número de casos de IAAP durante los seis meses anteriores aumenta en un millón. Conclusiones

Fig. 3. Precios nacionales de venta al por menor de huevos (grandes, grado A, docena) y variables acumulativas construidas de la IAAP, enero 2021 - diciembre 2023. Precio medio ponderado *Price* es el precio medio ponderado nacional de los huevos al por menor (grandes, grado A, docena). *CBBirds* es un total móvil de 6 meses del número de aves despobladas a causa de la IAAP (millones de aves). *CBirds* es el número acumulado de aves despobladas a causa de la IAAP (millones de aves). *CBFlocks* es el total móvil de 6 meses de focos de IAAP (bandadas). *CFlocks* es el número acumulado de brotes de IAAP. Fuente: Servicio de Comercialización Agrícola y Servicio de Inspección Animal y Vegetal del Departamento de Agricultura de EE.UU.



Cuadro

Los efectos de la IAAP en los precios al por menor de los huevos registrados Ene 2021-Dic 2023 (millones de aves).

Variable	(1) Estimación	(1) Error estándar robusto	(2) Estimación	(2) Error estándar robusto	(3) Estimación	(3) Error estándar robusto
Interceptar	-0.865***	(0.133)	0.280	(0.198)	-1.042***	(0.123)
CBBirdsit CBBirdsit Birdsit	0.003***	(0.001)	0.006***	(0.001)	-0.036***	(0.007)
Número de obs.	1,510		1,510		1,510	
R-cuadrado	0.576		0.588		0.581	
AIC	558.7		514.4		540.7	
BIC	686.3		642.1		668.4	

Nota: *P < 0,1; ** P < 0,05; *** P < 0,01. Las variables de control se omiten por brevedad, pero incluyen el color del huevo, la categoría del huevo, el tamaño del huevo, el tamaño del envase, el Índice de Precios Pagados al Productor, el Índice Google y la estacionalidad. La base del PPITW es 2011 y la del Índice Google es enero de 2021.

destacan la importancia de considerar tanto el marco temporal biológico como los tamaños específicos de las manadas afectadas por la IAAP para comprender los efectos po- tenciales sobre los precios de los huevos.

La tabla 5 presenta los resultados de nuestras regresiones que miden el número de brotes confirmados de IAAP (manadas). La estimación del coeficiente para *Parvadas* dice que los precios de los huevos disminuyen durante un brote de IAAP. Se trata de un hallazgo importante porque *Flocks* trata cada brote de IAAP como un acontecimiento discreto. Como se describe en la sección 3, *Flocks* es una especificación que se presta a un estudio de eventos. Esto implica que un estudio de eventos mal especificado podría tergiversar los impactos de la IAAP en los precios de los huevos. Las estimaciones para *Cflocks* muestran que a medida que el número de brotes de IAAP aumenta en un millón, los precios al por menor de los huevos se incrementan en un 1,29%. Incorporando un desfase de seis meses, la estimación para *CBFlocks* indica que los precios de los huevos suben un 1,09% cuando el número de manadas infectadas por la IAAP durante los seis meses anteriores aumenta en un millón. Estos resultados proporcionan otro ejemplo que ilustra la importancia de modelizar adecuadamente la cadena de suministro considerada. Sin embargo, estas especificaciones ignoran el tamaño de las manadas afectadas por la IAAP. Las tres especificaciones tratan los out- breaks de la misma manera en lo que respecta a los impactos en el precio de los huevos, lo que significa que los modelos están esti- mando el tamaño medio de las manadas. Aunque proporcionan información importante, esto puede ser más difícil de extender a futuros brotes si se producen cambios estructurales en la industria que conduzcan a una mayor concentración de aves en un local, es decir, a tamaños medios de manada más grandes.

Para contextualizar, en 2022-2023, había 55 ponedoras de huevos comerciales manadas, o 58,52 millones de aves, afectadas por la IAAP. Un millón de aves afectadas por la IAAP refleja el 1,7% del total de infecciones por IAAP, y una manada refleja el 1,8% del total de manadas de ponedoras afectadas por la IAAP. Los resultados que ignoran la biología tienden a sobreestimar los efectos de la IAAP en los precios de los huevos. Una explicación es que estas variables no pueden captar el descenso de los precios de los huevos tras el brote (Fig. 3). Por diseño, *Cflocks* y *Cbirds* permanecen constantes incluso después de que los precios de los huevos disminuyan tras el brote. *CBFlocks* y *CBBirds* vuelven a cero seis meses después del último brote. Esta diferencia permite una estimación matizada de cómo la industria del huevo puede volver a la normalidad tras el brote. Al permitir el reabastecimiento gradual y biológicamente factible en el tiempo de las aves, evita la discontinuidad inmediata de la medición puramente acumulativa con el impacto total.

5.2. Impactos regionales

El análisis principal de este documento examina cómo afecta la IAAP a

los precios nacionales de los huevos al por menor. El análisis utiliza los precios medios semanales de los huevos del USDA-AMS y los totales semanales de aves y manadas para las detecciones de IAAP del USDA-APHIS. Los resultados recogidos en las tablas 4 y 5 ofrecen un efecto medio sobre el mercado minorista agregado de huevos. Estos resultados se alinean con el tema principal del documento de que la especificación errónea de la cadena de suministro de huevos puede sesgar los resultados y magnificarse en el análisis de políticas. Un análisis más matizado de los efectos de la IAAP en los precios al por menor de los huevos reconocería la regionalidad de los mercados de huevos y la propagación espacial de la enfermedad. Esta sección amplía los resultados principales determinando cómo afectan los brotes de IAAP específicos de cada región a los precios regionales de los huevos.

USDA-AMS informa semanalmente de los precios al por menor de los huevos en seis mercados regionales de huevos. Estos mercados regionales incluyen el Medio Oeste (IA, IL, IN, KY, MI, MN, ND, NE, OH, SD, WI); el Noreste (CT, DE, MA, MD, ME, NH, NJ, NY, PA, RI, VT); Noroeste (ID, MT, OR, WA, WY); Centro Sur (AR, CO, KS, LA, MO, NM, OK, TX); Sureste (AL, FL, GA, MS, NC, SC, TN, VA, WV); y Suroeste (AZ, CA, NV, UT). El USDA-APHIS informa diariamente de las detecciones de IAAP, incluyendo el tipo de manada y el número de aves afectadas a nivel de condado. Los datos de IAAP del USDA-APHIS se agregaron regionalmente para que coincidieran con los mercados regionales de huevos definidos por el USDA-AMS. Se construyeron *CBBirds* y *CBFlocks* para cada región.

La tabla A.2 del apéndice resume los precios regionales del huevo, los brotes de IAAP y los casos. La tabla muestra los precios medios de los huevos para tres periodos: pre IAAP, IAAP y post IAAP, donde post IAAP se define como el periodo inmediatamente posterior al brote del 16 de junio de 2023.³ USDA- ERS (2023a) analiza los precios al por mayor de los huevos y las cantidades durante la IAAP. La Tabla A.2 informa de las cifras regionales de la IAAP, que captan efectivamente los cambios en las cantidades si se hiciera una suposición sobre la producción de huevos por ponedora y semana. Para cada región, los precios de los huevos siguen aumentando tras el último brote de IAAP, lo que proporciona evidencia no paramétrica a nuestro argumento principal de que existe un proceso de ajuste retardado tras un brote de IAAP. Observe que no hubo brotes en el sureste ni en el suroeste, pero los precios aumentaron en esas regiones igualmente. Esto sugiere que podría haber efectos indirectos regionales de los brotes de IAAP entre regiones. Sin embargo, como describimos en la sección 3, hay varios factores de confusión relacionados con la inflación que podrían aumentar los precios regionales de los huevos independientemente de si se produjo un brote de IAAP.

La siguiente regresión de panel proporciona una prueba cruda de los efectos regionales de la IAAP:

$$\tilde{Price}_{irt} = \beta_0 + \beta HPAI_{irt} + \gamma X_{irt} + \theta R_r + \delta Z_t + \varepsilon_{irt} \quad (3)$$

donde r es un índice para la región, $IAAP_{rt}$ es un vector que mide la IAAP en la región r , R_r son los efectos regionales, y todos los elementos restantes son los definidos anteriormente. En la Ecuación (3), β_{1r} es el efecto de los brotes (casos) de IAAP de la región r sobre los precios de los huevos de la región r y β_{2r} es el vector de los efectos de los brotes (casos) de IAAP en las regiones $-r$ sobre los precios de los huevos de la región r . En estos modelos, nos centramos en las dos especificaciones de la IAAP que incorporan un efecto acumulativo con un desfase biológico de seis meses, *CBBirds* y *CBFlocks*.

Los resultados del modelo regional figuran en la tabla A.3. El modelo regional ofrece varias perspectivas interesantes. Los precios regionales de los huevos aumentan un 15,2% cuando los casos acumulados de IAAP aumentan en un millón en el Noroeste (Tabla A.3). Un aumento de la IAAP en un millón de aves en el Medio Oeste y el Centro Sur incrementa los precios regionales de los huevos en un 1,0% y un 5,4%, respectivamente. La dirección del impacto no es consistente entre regiones. Los aumentos de casos de IAAP en el Noreste y el Suroeste disminuyen los precios regionales de los huevos.

³ Hubo brotes en noviembre y diciembre de 2023. A efectos ilustrativos, estos brotes se omitieron en el cálculo de las medias de precios durante las tres fases: antes, durante y después del brote. Los datos para estimar los modelos de regresión incluyen los brotes de noviembre y diciembre de 2023.

Cuadro
Los efectos de la IAAP en los precios al por menor de los huevos registrados Ene 2021-Dic 2023 (manadas).

Variable	(1) Estimación	(1) Error estándar robusto	(2) Estimación	(2) Error estándar robusto	(3) Estimación	(3) Error estándar robusto
Interceptar	-0.765***	(0.137)	0.160	(0.196)	-1.089***	(0.126)
<i>CBFlocks</i>	0.011***	(0.003)				
<i>CFlocks</i>			0.013***	(0.002)		
<i>Flocks</i>					-0.099***	(0.028)
(0,1)						
Número de obs.	1,510		1,510		1,510	
R-cuadrado	0.578		0.587		0.577	
AIC	549.7		520.1		554.9	
BIC	677.4		647.7		682.6	

Nota: *P < 0,1; ** P < 0,05; *** P < 0,01. Las variables de control se omiten por brevedad, pero incluyen el color del huevo, la categoría del huevo, el tamaño del huevo, el tamaño del envase, el Índice de Precios Pagados al Productor, el Índice Google y la estacionalidad. La base del PPITW es 2011 y la del Índice Google es enero de 2021.

En general, los resultados aportan pruebas de los impactos regionales sobre los precios al por menor de los huevos. Los resultados son similares para las variables regionales de la IAAP que miden los impactos de la enfermedad con el número de manadas despobladas. Los brotes de gripe aviar altamente patógena en el centro sur repercuten sistemáticamente en los precios de los huevos en todas las regiones. Los precios al por menor de los huevos aumentan un 4,6% y un 8,5% cuando el número acumulado de brotes de IAAP aumenta en uno en las regiones Centro-Oeste y Centro-Sur, respectivamente. Los resultados muestran que algunos brotes regionales de IAAP disminuyen los precios de los huevos en otras regiones. En concreto, encontramos Los brotes en el noreste y el suroeste disminuyen los precios al por menor de los huevos.

Un posible inconveniente de los datos regionales es que se trata de regiones definidas por el USDA. Es posible que el USDA haya definido estas regiones con fines de recopilación o notificación de datos. Eso no significa que las cadenas de suministro de huevos funcionen de forma coherente con las definiciones regionales del USDA. La IAAP ciertamente no obedece a las definiciones regionales. Futuros trabajos podrían explorar la dinámica regional de la IAAP y los posibles flujos comerciales de huevos entre regiones.

5.3. Robustez

Nuestros resultados dependen de si controlamos adecuadamente dos factores importantes relacionados con la IAAP que también influyen en los precios al por menor de los huevos. La primera variable de control importante para nuestro análisis es la inflación. En la sección 3.1, proporcionamos el contexto de por qué la inflación es una consideración importante. A saber, podría sesgar nuestros resultados al alza porque nuestras especificaciones sobre la IAAP medirían todas las fuentes de inflación de los precios de los huevos. También discutimos por qué el IPC es un control inapropiado para la inflación en la Sección 3.1. En la Tabla A.4, mostramos lo que ocurre con las estimaciones de las dos especificaciones principales de la IPPA cuando ignoramos la inflación y controlamos la inflación mediante los índices IPC y PPITW. Ignorando la inflación como variable de control, nuestra estimación para *CBBirds* es del 0,87%. Nuestra estimación para *CBBirds* desciende del 0,87% al 0,58% y al 0,30% cuando utilizamos el IPC y el PPITW como controles de la inflación, respectivamente. Del mismo modo, nuestra estimación para *CBFlocks* es del 2,7% cuando ignoramos la inflación. Controlando la inflación mediante el IPC y el PPITW, la estimación para *CBFlocks* cambia a 1,7% y 1,1%, respectivamente. Ignorar la inflación y controlar la inflación utilizando el IPC hace que sobrestimemos los impactos de la IAAP en los precios al por menor de los huevos.

La segunda variable de control importante para nuestro análisis es la demanda de los consumidores. En la sección 3.1, argumentamos por qué el impacto de la demanda de los consumidores a través de la retirada de alimentos no es preocupante. Sin embargo, existen resultados contradictorios sobre si la concienciación de los

consumidores sobre la IAAP podría repercutir en la compra de huevos por parte de los consumidores. Construimos un índice compuesto de Google Trends de EE.UU. (base = enero-21) para la gripe aviar, la gripe aviar y la IAAP para controlar la concienciación de los consumidores sobre la IAAP. Los resultados de la tabla A.5 muestran cómo cambian nuestras estimaciones cuando omitimos nuestro Índice de Tendencias de Google como variable de control. Es decir, las estimaciones para *CBBirds* y *CBFlocks* son menores cuando no incluimos una variable de control para la concienciación de los consumidores. Este hallazgo era de esperar. En la medida en que la concienciación de los consumidores influya en las decisiones de compra, los precios al por menor de los huevos bajarían. Por lo tanto, omitir una variable para la concienciación de los consumidores haría que subestimáramos la

Cuadro

6. Implicaciones políticas

Los resultados tienen importantes implicaciones políticas para cuantificar con precisión las pérdidas de bienestar de los consumidores derivadas de la IAAP y del aumento de los precios de los huevos. La [tabla 6](#) presenta el cambio marginal medio en el precio y los cambios en la demanda de cantidad de huevos al por menor. Utilizamos los valores observados para las seis especificaciones de la IAAP para estimar el cambio porcentual marginal medio en los precios nacionales de los huevos al por menor desde febrero de 2022 hasta diciembre de 2023. Las estimaciones de la [Tabla 6](#) son el cambio porcentual semanal medio en los precios de los huevos al por menor durante el evento de la IAAP de 2022-2023. *CBBirds* y *CBFlocks* estiman que los precios aumentaron un 5,30% y un 5,34% por la IAAP durante 2022-2023. Las variables de una sola semana estiman cambios semanales en los precios de los huevos de -2,76% y -3,05% para *las aves* y *las bandadas*, respectivamente. Los cambios de precios de la [tabla 6](#) y las elasticidades de la demanda al precio propio se utilizan para calcular el cambio porcentual en la demanda de cantidad de huevos.

Las elasticidades de los precios propios se han tomado de [Andreyeva et al.\(2010\)](#), [Okrent y Alston \(2011\)](#), y [Bakhtavoryan et al. \(2021\)](#), que son de -0,27,

-0,18 y -0,23, respectivamente. Utilizando las seis variables de la IAAP y tres elasticidades del precio propio, la [tabla 7](#) informa de 18 estimaciones para el cambio porcentual en la demanda de cantidad de huevos al por menor. La construcción de las variables hace que éste sea un resultado esperado porque *Cbirds* y *Cflocks* no disminuyen después de seis meses cuando se sustituyen las manadas afectadas. En comparación, *CBBirds* y *CBFlocks* tienen en cuenta la repoblación de la cadena de suministro posterior al suceso que las otras especificaciones ignoran. Por tanto, se espera un tamaño del efecto menor en relación con *Cbirds* y *Cflocks*. Por el contrario, *Birds* y *Flocks* estiman un aumento de las cantidades de huevos al por menor durante un evento de IAAP, lo que subraya aún más cómo la especificación errónea conduce a resultados sesgados, incluso si ese sesgo parece obvio para quienes están familiarizados con la industria.

Las estimaciones de la [Tabla 6](#) se utilizan para calcular los cambios en el sur- plus del consumidor (CS). El consumo per cápita de huevos y los precios de los huevos de 2021 se utilizan como valores previos a la IAAP para los cálculos del CS en la Ec. (2). Basándose en los cambios marginales de los precios, que oscilan entre el 20,79% y el -3,05%, durante el evento de la IAAP de 2022-2023, los precios al por menor de los huevos cambiaron de 2,34 \$ por docena a 2,27 \$.

2,83 dólares por docena. Nota *Birds* and *Flocks* estima un descenso en los precios de los huevos. Utilizando los valores de 2021, la población estadounidense de 332,14 millones consume 201 huevos por persona al año, la cantidad demandada de huevos ascendía a 5.578 millones de docenas de huevos antes de la IAAP ([USDA-ERS, 2023c](#)). A través de seis especificaciones de variables de la IAAP y tres elasticidades de la demanda al precio propio, estimamos que durante el evento de la IAAP de 2022-2023, la cantidad demandada de huevos cambió a 5,27-5,63 mil millones de docenas de huevos.

La [tabla 7](#) recoge las estimaciones del cambio en el excedente del consumidor durante la IAAP 2022-2023. Cuando se tienen en cuenta los retardos biológicos, estimamos una pérdida de excedente del consumidor de entre 687 y 693 millones de dólares. *Cbirds* y *Cflocks* estiman pérdidas en el excedente del consumidor entre 2.369 y 2.663 millones de dólares. Por término medio, *Cbirds* y *Cflocks* sobrestiman los cambios en el excedente del consumidor en un factor de 7 y 5, respectivamente. Este resultado es de esperar porque *Cbirds* y *Cflocks* no tienen en cuenta el retraso biológico para reemplazar las bandadas afectadas. *Birds* y *Flocks* estiman las ganancias en el excedente del consumidor,

Cuadro 6
Cambios estimados en los precios semanales al por menor de los huevos y en la cantidad demandada de huevos de los brotes de IAAP de 2022 a 2023.

	<i>CBBirds</i>	<i>Cbirds</i>	<i>Pájaros</i>	<i>CBFlocks</i>	<i>Cflocks</i>	<i>Bandadas</i>
%ΔPrecio	5.30%	20.79%	-2.76%	5.34%	18.61%	-3.05%
%ΔCantidad1 ^a	-0.95%	-3.74%	0.50%	-0.96%	-3.35%	0.55%
%ΔCantidad2 ^b	-1.43%	-5.61%	0.74%	-1.44%	-5.03%	0.82%
% Δ C a n t i d a d 3 ^c	-1.24%	-4.88%	0.65%	-1.25%	-4.37%	0.72%

^aUtiliza -0,18 como elasticidad del precio propio de la demanda de Okrent y Alston (2011).
^b Utiliza -0,27 como elasticidad del precio propio de la demanda de Andreyeva et al. (2010).
^c Utiliza -0,23 como elasticidad del precio propio de la demanda de Bakhtavoryan et al. (2021).

Cuadro 7
Cambios en el excedente del consumidor por el brote de IAAP de 2022 para diferentes especificaciones de la variable IAAP (millones de dólares).

Elasticidad de los precios propios	Cambio en el superávit del consumidor					
	<i>CBBirds</i>	<i>Cbirds</i>	<i>Pájaros</i>	<i>CBFlocks</i>	<i>Cflocks</i>	<i>Bandadas</i>
Okrent y Alston (2011) ^a	-688.56	-2,663.03	360.99	-693.48	-2,388.86	399.51
Andreyeva et al. (2010) ^b	-686.91	-2,637.64	361.44	-691.81	-2,368.52	400.06
Bakhtavoryan et al. (2021) ^c	-687.56	-2,647.57	361.26	-692.46	-2,376.47	399.84

^aLa elasticidad precio propia de la demanda de Okrent y Alston (2011) es de -0,18.
^b La elasticidad del precio propio de la demanda de Andreyeva et al. (2010) es de -0,27.
^c La elasticidad precio propia de la demanda de et al. (2021) es de -0,23.

destacando cómo una mala especificación puede introducir sesgos en las estimaciones políticamente relevantes.

a 4. Esta información podría ser muy valiosa para que los responsables políticos se adelanten a los acontecimientos.

7. Conclusión

La dinámica de los desfases de la producción biológica subraya la interconexión de las cadenas de suministro agroalimentario y la necesidad de modelos que capten estas relaciones con precisión. En el caso de la gripe aviar altamente patógena, las fluctuaciones del precio de los huevos al por menor subrayan la interacción entre las perturbaciones biológicas y los indicadores económicos. Nuestro estudio se basa en la literatura de economía aplicada para mostrar las importantes implicaciones de la IAAP en los precios al por menor de los huevos. Con la IAAP de 2022-2023 como evento central, hemos puesto de relieve que una especificación errónea de la cadena de suministro de huevos puede llevar a percepciones sesgadas, que a menudo infravaloran o sesgan el impacto real de tales perturbaciones biológicas.

Nuestros hallazgos revelan un aspecto fundamental de la modelización econométrica: la necesidad inherente de una especificación precisa de la bio-logía de la producción agrícola, especialmente en el contexto de conmociones externas como los brotes de enfermedades, no puede exagerarse. Cuando contrastamos diferentes modelos basados en el número de aves y bandadas afectadas por la IAAP, la incorporación de los desfases biológicos en nuestros análisis proporciona un reflejo más exacto del impacto de los precios. De hecho, cuando se integran los desfases biológicos, los resultados ofrecen una visión más precisa y matizada de la dinámica del mercado minorista de huevos. Al comprender los desfases biológicos en los sistemas de producción, los investigadores agroalimentarios mejoran su precisión econométrica y allanan el camino para tomar decisiones políticas informadas que tengan en cuenta los entresijos de la cadena de suministro alimentario.

Una comprensión clara de la verdadera importancia económica y del impacto sobre el excedente del consumidor puede orientar a los responsables políticos a la hora de valorar e idear una vigilancia y un control proactivos de la enfermedad, así como medidas de respuesta para mitigar las repercusiones de estos sucesos que perturban el negocio. Cuando ampliamos estos resultados al excedente del consumidor, descubrimos que los modelos que ignoran la naturaleza acumulativa de la gripe aviar altamente patógena estiman ganancias en el excedente del consumidor, y los modelos que ignoran la recuperación posterior al brote de las in- ventarias de ponedoras sobreestiman la pérdida de excedente del consumidor en un factor de 3

Estructurar mecanismos compensatorios, regímenes de subvenciones u otras medidas de apoyo para evitar las perturbaciones y para las partes interesadas afectadas de la cadena de suministro.

Desde el punto de vista econométrico, los hallazgos de este estudio ponen de relieve los posibles escollos del descuido o la simplificación en la modelización. Este trabajo subraya el valor de la precisión en la política de bioseguridad para gestionar las enfermedades animales infecciosas (Hennessy y Rault, 2023). La discrepancia entre las variables de una sola semana y las que tienen en cuenta los desfases biológicos dilucida los sesgos potenciales que pueden surgir, incluso de forma no intencionada, dando lugar a resultados que pueden orientar o informar erróneamente. Es un potente recordatorio para que los investigadores alineen constantemente sus modelos con las características innatas y las líneas temporales de los sistemas que pretenden estudiar.

La investigación futura podría expandirse en varias direcciones. Un camino evidente es explorar los impactos más amplios de los brotes de enfermedades en los sistemas alimentarios interconectados y no sólo en los precios al por menor, como el servicio y la elaboración de alimentos. ¿Cómo influye un brote en un segmento en el panorama agroalimentario más amplio? ¿Cómo se alteran las percepciones de los consumidores, la evitación del riesgo de zoonosis y el comportamiento en respuesta a tales conmociones a lo largo del tiempo y son los impactos aditivos en lugar de los impactos directos de un acontecimiento específico? Además, profundizar en los matices de los desfases biológicos, y potencialmente en otras dinámicas pasadas por alto, podría dar lugar a modelos aún más refinados. Este estudio subraya un aspecto crítico de la modelización de la cadena de suministro alimentario. Los próximos pasos consisten en ampliar esta comprensión y traducirla en ideas procesables tanto para la industria como para los responsables políticos.

Declaración de contribución a la autoría de CRediT

James L. Mitchell Redacción - revisión y edición, Redacción - borrador original, Supervisión, Software, Administración del proyecto, Metodología, Análisis formal, Conceptualización. **Jada M. Thompson:** Redacción - revisión & edición, Redacción - borrador original, Metodología, Curación de datos, Conceptualización. **Trey Malone:** Redacción - revisión & edición, Redacción - borrador original, Supervisión, Conceptualización.

Apéndice

Tabla A.1

Los efectos de la IAAP en los precios al por menor registrados de los huevos utilizando diferentes especificaciones de las variables de la IAAP y longitudes de retardo Ene 2021-Dic 2023.

	Longitud de retraso					
	6 meses	5 meses	4 meses	6 meses	5 meses	4 meses
<i>Interceptar</i>	-0.865*** (0.133)	-0.901*** (0.132)	-0.988*** (0.129)	-0.765*** (0.137)	-0.832*** (0.135)	-0.922*** (0.132)
<i>CBBirdsit</i>	0.003*** (0.001)	0.003*** (0.001)	0.001 (0.001)			
<i>CBFlocksit</i>				0.011*** (0.003)	0.010*** (0.003)	0.007** (0.004)
Número de obs.	1,510	1,510	1,510	1,510	1,510	1,510
R-cuadrado	0.576	0.575	0.573	0.578	0.577	0.575
AIC	558.7	561.5	567.4	549.7	556.2	563.6
BIC	686.3	689.2	695.1	677.4	683.9	691.3

Nota: *P < 0,1; ** P < 0,05; *** P < 0,01. *CBBirds* mide la IAAP en millones de aves. *CBFlocks* mide la IAAP en bandadas de aves. Las estimaciones de los coeficientes estacionales se omiten para ahorrar espacio. Las variables de control se omiten por brevedad, pero incluyen el color del huevo, la categoría del huevo, el tamaño del huevo, el tamaño del contenedor, el índice de precios pagados al productor, el índice Google y la estacionalidad. La base del *PPITW* es 2011 y la del Índice Google es enero de 2021.

Tabla A.2

Resumen regional de los brotes de IAAP y los precios al por menor de los huevos, enero 2021 - junio 2023.

	Nacional	Medio Oeste	Noreste	Noroeste	Centro Sur	Sureste	Suroeste
Aves (mil.)	56.17	36.75	6.20	1.02	7.48	0	4.71
Bandadas	26	16	8	1	7	0	6
Tamaño de la bandada (mil.)	2.60	2.30	0.78	1.02	1.07	0	0.79
Precio del huevo (\$/dz.)							
Pre IAAP ^a	2.34	2.06	2.53	2.10	2.15	2.38	2.42
Durante la IAAP ^b	3.01	2.71	3.19	2.69	2.77	2.93	3.46
Post IAAP ^c	3.24	2.68	3.30	3.02	2.90	3.29	3.13

^aPrecio medio al por menor de los huevos antes del primer brote de IAAP el 22 de febrero de 2022.

^bPrecio medio de los huevos al por menor entre el primer brote de IAAP, el 22 de febrero de 2022, y el último brote de IAAP, el 22 de diciembre de 2023.

^cPrecio medio al por menor de los huevos tras el último brote de IAAP el 22 de diciembre de 2022.

Tabla A.3

Efectos de los casos regionales de IAAP (aves) en los precios regionales de los huevos, enero 2021-diciembre 2023.

	(1) Estimación	(1) Error estándar robusto	(2) Estimación	(2) Error estándar robusto
(Intercepción)	-0.608***	0.080	-0.556***	0.081
<i>CBBirds</i> ^{NE}	-0.031***	0.007		
<i>CBBirds</i> ^{MW}	0.010***	0.002		
<i>CBBirds</i> ^{SC}	0.054***	0.008		
<i>CBBirds</i> ^{NW}	0.152***	0.035		
<i>CBBirds</i> ^{SW}	-0.048**	0.019		
<i>CBFlocks</i> ^{NE}			-0.033***	0.005
<i>CBFlocks</i> ^{MW}			0.046***	0.007
<i>CBFlocks</i> ^{SC}			0.085***	0.012
<i>CBFlocks</i> ^{NW}			-0.007	0.046
<i>CBFlocks</i> ^{SW}			-0.088**	0.017
Número de obs.	4,056		4,056	
R-cuadrado	0.710		0.712	
AIC	433.3		413.9	
BIC	654.1		634.7	

Nota: *CBBirds* mide la IAAP en millones de aves. *CBFlocks* mide la IAAP en bandadas de aves. NE es noreste; MW es medio oeste; NW es noroeste; SC es centro sur; SE es sureste; SW es suroeste. Las variables de control se omiten por brevedad, pero incluyen el color del huevo, la categoría del huevo, el tamaño del huevo, el tamaño del contenedor, el índice de precios pagados al productor, el índice Google, los efectos fijos regionales y la estacionalidad. P < 0,1; ** P < 0,05; *** P < 0,01.

Tabla A.4

Los efectos de la IAAP en los precios al por menor registrados de los huevos Ene 2021-Dic 2023 utilizando diferentes variables de control de la inflación de los precios de los huevos.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>Interceptar</i>	0.986***	-1.564***	-0.865***	0.995***	-1.439***	-0.765***

<i>J.L. Mitchell et al.</i>					<i>Política alimentaria 126 (2024)</i>
	(0.052)	(0.169)	(0.133)	(0.051)	(0.172) 102655 (0.137)
<i>CBBirdsit</i>	0.009***	0.006***	0.003***		
	(0.001)	(0.001)	(0.001)		
					(continúa en la página siguiente)

Tabla A.4 (continuación)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>CBFlocksit</i>				0.027*** (0.003)	0.017*** (0.003)	0.011*** (0.003)
<i>Color (0,1)</i>	-0.116*** (0.022)	-0.142*** (0.021)	-0.137*** (0.021)	-0.117*** (0.021)	-0.142*** (0.021)	-0.136*** (0.021)
<i>Calidad (0,1)</i>						
AA	0.035 (0.036)	0.075** (0.033)	0.070** (0.034)	0.039 (0.036)	0.076** (0.033)	0.070** (0.033)
Sin jaulas	0.494*** (0.032)	0.479*** (0.031)	0.483*** (0.031)	0.493*** (0.032)	0.479*** (0.031)	0.483*** (0.031)
Omega-3	0.547*** (0.029)	0.547*** (0.027)	0.549*** (0.027)	0.547*** (0.028)	0.547*** (0.027)	0.549*** (0.027)
Orgánica	0.888*** (0.036)	0.882*** (0.035)	0.887*** (0.036)	0.889*** (0.036)	0.883*** (0.035)	0.888*** (0.036)
Alimentado con vegetales	0.441*** (0.037)	0.454*** (0.036)	0.458*** (0.036)	0.443*** (0.037)	0.455*** (0.036)	0.458*** (0.036)
<i>Tamaño (0,1)</i>						
Grande	-0.139*** (0.022)	-0.169*** (0.021)	-0.164*** (0.021)	-0.142*** (0.022)	-0.169*** (0.021)	-0.164*** (0.021)
<i>Contenedor (0,1)</i>						
Doz.	-0.374*** (0.035)	-0.378*** (0.032)	-0.380*** (0.032)	-0.377*** (0.035)	-0.380*** (0.032)	-0.381*** (0.032)
<i>Índice Google</i>	0.000 (0.000)	0.000*** (0.000)	0.000*** (0.000)	0.000 (0.000)	0.000*** (0.000)	0.000*** (0.000)
<i>IPC</i>		0.010*** (0.001)			0.009*** (0.001)	
<i>PPITW</i>			0.016*** (0.001)			0.015*** (0.001)
Número de obs.	1,510	1,510	1,510	1,510	1,510	1,510
R-cuadrado	0.513	0.582	0.576	0.525	0.585	0.578
AIC	766.7	538.0	558.7	728.3	524.4	549.7
BIC	889.0	665.7	686.3	850.7	652.1	677.4

Nota: *P < 0,1; ** P < 0,05; *** P < 0,01. Las estimaciones de los coeficientes estacionales se omiten para ahorrar espacio. No había observaciones para los huevos de tamaño mediano o los huevos vendidos en envases de 2,5 docenas en los datos para los precios nacionales de los huevos. Las etiquetas de las columnas denotan los resultados de estimaciones separadas. La base del IPC es 1982-84, la base del PPITW es 2011 y la base del Índice Google es enero de 2021.

Tabla A.5

Los efectos de la IAAP en los precios al por menor de los huevos registrados entre enero de 2021 y diciembre de 2023 y la sensibilidad de los resultados al control de la concienciación de los consumidores mediante un índice de Google Trends.

	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Interceptar</i>	-0.865*** (0.133)	-0.678*** (0.125)	-0.765*** (0.137)	-0.567*** (0.129)
<i>CBBirdsit</i>	0.003*** (0.001)	0.002* (0.001)		
<i>CBFlocksit</i>			0.011*** (0.003)	0.008*** (0.003)
<i>Color (0,1)</i>	-0.137*** (0.021)	-0.135*** (0.021)	-0.136*** (0.021)	-0.134*** (0.021)
<i>Calidad (0,1)</i>				
AA	0.070** (0.034)	0.067** (0.034)	0.070** (0.033)	0.066* (0.034)
Sin jaulas	0.483*** (0.031)	0.483*** (0.031)	0.483*** (0.031)	0.483*** (0.031)
Omega-3	0.549*** (0.027)	0.548*** (0.027)	0.549*** (0.027)	0.548*** (0.027)
Orgánica	0.887*** (0.036)	0.884*** (0.035)	0.888*** (0.036)	0.885*** (0.035)
Alimentado con vegetales	0.458*** (0.036)	0.457*** (0.036)	0.458*** (0.036)	0.457*** (0.036)
<i>Tamaño (0,1)</i>				
Grande	-0.164*** (0.021)	-0.161*** (0.021)	-0.164*** (0.021)	-0.161*** (0.021)
<i>Contenedor (0,1)</i>				
Doz.	-0.380*** (0.032)	-0.381*** (0.033)	-0.381*** (0.032)	-0.382*** (0.033)
<i>PPITW</i>	0.016*** (0.001)	0.014*** (0.001)	0.015*** (0.001)	0.013*** (0.001)
<i>Índice Google</i>	0.000*** (0.000)		0.000*** (0.000)	
Número de obs.	1,510	1,510	1,510	1,510
R-cuadrado	0.576	0.570	0.578	0.572

(continúa en la página siguiente)

Tabla A.5 (continuación)

	(1)	(2)	(3)	(4)
AIC	558.7	579.6	549.7	572.2
BIC	686.3	701.9	677.4	694.6

Nota: *P < 0,1; ** P < 0,05; *** P < 0,01. Las estimaciones de los coeficientes estacionales se omiten para ahorrar espacio. No había observaciones para huevos de tamaño mediano o huevos vendidos en envases de 2,5 docenas en los datos de los precios nacionales de los huevos. Las etiquetas de las columnas denotan los resultados de estimaciones separadas. La base del IPC es 1982-84, la base del PPITW es 2011 y la base del Índice Google es enero de 2021.

Referencias

Acosta, A., Barrantes, C., Ihle, R., 2020. Los brotes de enfermedades animales y la dinámica de los precios del mercado alimentario: evidencias a partir de modelos dependientes del régimen y gráficos de dispersión conectados. *Aust. J. Agric. Resour. Econ.* 64 (3), 960-976.

Acosta, A., Lloyd, T., McCorry, S., Lan, H., 2023. El efecto dominó de los brotes de enfermedades animales en los sistemas alimentarios: el caso de la peste porcina africana en el mercado porcino chino. *Prev. Vet. Med.* 215, 105912.

Altizer, S., Ostfeld, R.S., Johnson, P.T.J., Kutz, S., Harvell, C.D., 2013. Cambio climático y enfermedades infecciosas: de la evidencia a un marco predictivo. *Science* 341 (6145), 514-519.

Andreyeva, T., Long, M.W., Brownell, K.D., 2010. El impacto de los precios de los alimentos en el consumo: una revisión sistemática de la investigación sobre la elasticidad-precio de la demanda de alimentos. *Am. J. Public Health* 100, 216-222.

Bakhtavoryan, R., Hovhannisyann, V., Devadoss, S., López, J., 2021. Una evaluación empírica de la demanda de huevos en Estados Unidos. *J. Agric. Appl. Econ.* 53 (2), 280-300.

Beach, R.H., Kuchler, F., Leibtag, E.S., Zhen, C., 2008. Los efectos de las noticias sobre la gripe aviar en el comportamiento de compra de los consumidores: Un estudio de caso de consumidores italianos. *USDA, Washington, DC, EE.UU.*

Hadachek, J., Ma, M., Sexton, R.J., 2024. Estructura del mercado y resistencia de las cadenas de suministro alimentario ante acontecimientos extremos. *Am. J. Agric. Econ.* 106 (1), 21-44.

Hennessy, D.A., Marsh, T.L., 2021. Economía de la sanidad animal y las enfermedades del ganado. *Handb. Agric. Econ.* 5, 4233-4330.

Hennessy, D.A., Rault, A., 2023. Sobre las acciones y políticas de bioseguridad sistemáticamente insuficientes para gestionar las enfermedades animales infecciosas. *Ecol. Econ.* 206, 107740.

Jones, B.A., Grace, D., Kock, R., Alonso, S., Rushton, J., Said, M.Y., Pfeiffer, D.U., 2013. Emergencia de zoonosis vinculada a la intensificación agrícola y al cambio medioambiental. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 110 (21), 8399-8404.

Jones, K.E., Patel, N.G., Levy, M.A., Storeygard, A., Balk, D., Gittleman, J.L., Daszak, P., 2008. Tendencias mundiales de las enfermedades infecciosas emergentes. *Nature* 451 (7181), 990-993.

Karakoc, D.B., Konar, M., Puma, M.J., Varshney, L.R., 2023. Los estrangulamientos estructurales determinan la resistencia de las cadenas de suministro agroalimentario en Estados Unidos. *Nature Food*. 1-9.

Keesing, F., Belden, L.K., Daszak, P., Dobson, A., Harvell, C.D., Holt, R.D., Mitchell, C.E., 2010. Impactos de la biodiversidad en la aparición y transmisión de enfermedades infecciosas. *Nature* 468 (7324), 647-652.

Lee, J., Schulz, L.L., Hoffman, E., Tonsor, G.T., 2023. ¿Cómo puede afectar la información sobre enfermedades animales extranjeras a la compra de carne? El caso de la peste porcina africana. *Agric. Resour. Econ. Rev.* 51, 89-111.

MacDonald, J.M., 2020. Siguiendo la pista a la consolidación de la agricultura estadounidense. *Appl. Econ. Perspect. Policy* 42 (3), 361-379.

Malone, T., Lusk, J.L., 2016. Anteponer el precio de la gallina al del huevo: Un análisis "Ex Post" de la prohibición de las jaulas en batería en California. *Agric. Resour. Econ. Rev.* 41 (3), 518-532.

Malone, T., Schaefer, K.A., Lusk, J.L., 2021. Desentrañando las cadenas de suministro de huevos de EE.UU. en medio del COVID-19. *Política alimentaria* 101, 102046.

Marsh, T., Schroeder, T., Mintert, J., 2004. Impacto de las retiradas de productos cárnicos en la demanda de los consumidores en EE.UU. *Appl. Econ.* 36 (9), 897-909.

Nerlove, M., 1979. La dinámica de la oferta: retrospectiva y perspectiva. *Am. J. Agric. Econ.* 61 (5), 874-888.

Okrent, A.M., Alston, J.M., 2011. Demanda de alimentos en Estados Unidos: revisión de la literatura, evaluación de estimaciones anteriores y presentación de nuevas estimaciones de la demanda. En: *Giannini Foundation Monograph 48*, Fundación Giannini de Economía Agrícola, Berkeley, CA, 2011.

Paini, D.R., Sheppard, A.W., Cook, D.C., De Barro, P.J., Worner, S.P., Thomas, M.B., 2016. Amenaza global de las especies invasoras para la agricultura. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 113 (27), 7575-7579.

Pudenz, C.C., Schulz, L.L., Tonsor, G.T., 2019. Adopción de un plan de abastecimiento seguro de carne de cerdo bioseguridad por parte de los productores porcinos estadounidenses. *Front. Veter. Sci.* 6, 146-160.

Schulz, L.L., Tonsor, G.T., 2015. Evaluación de los impactos económicos del virus de la diarrea epidémica porcina en Estados Unidos. *J. Anim. Sci.* 93 (11), 5111-5118.

Seeger, R.M., Hagerman, A.D., Johnson, K.K., Pendell, D.L., Marsh, T.L., 2021. Cuando las aves de corral se dan de baja: Costes de la respuesta a la epidemia de gripe aviar altamente patógena de 2014-2015 en EE. UU. *Política alimentaria* 102, 102068.

Stevens, A.W., Teal, J., 2023. Diversificación y resistencia de las empresas en la cadena de suministro agroalimentaria. *Am. J. Agric. Econ.* 106 (2), 739-778.

Subramaniam, A., Wahdat, A.Z., Lusk, J.L., 2023. Cambios en los precios de los alimentos en EE.UU. Centro de Análisis de la Demanda Alimentaria y Sostenibilidad. Disponible en línea en: <https://ag.purdue.edu/cfdas/recursos-biblioteca/cambios-en-los-precios-alimentarios/>.

Thompson, J.M., 2018. Efectos de las restricciones comerciales regionalizadas en la cantidad exportada durante un evento de gripe aviar altamente patógena. *J. Agric. Appl. Econ.* 50 (2), 270-289.

Thompson, J.M., Trejo-Pech, C.J., Pendell, D.L., 2019a. Impactos en el valor de la agroindustria de la gripe aviar altamente patógena. *Agric. Fin. Rev.* 79 (3), 371-385.

Thompson, J.M., Pendell, D.L., Boyer, T., Patyk, K.A., Malladi, S., Weaver, J.T., 2019b. Impactos económicos de la continuidad del negocio en un brote de influenza aviar altamente patógena en operaciones de puesta de huevos en Minnesota. *J. Agric. Appl. Econ.* 51 (2), 235-248.

Tonsor, G.T., 2022. Monitor de la demanda de carne. Universidad Estatal de Kansas, Departamento de Economía Agrícola, página web Ag Manager. Disponible en: <https://www.agmanager.info/livestock-meat/meat-demand/monthly-meat-demand-monitor-survey-data>.

Departamento de Agricultura de EE.UU., Servicio Nacional de Estadísticas Agrícolas. Pollo y huevos. Disponible en: https://usda.library.cornell.edu/concern/publications/fb49484_2n?locale=en.

Departamento de Agricultura de EE.UU., Sistema Nacional de Vigilancia de la Salud Animal, 2014. Ponedoras 2013 Parte I: Referencia de prácticas sanitarias y de gestión en granjas de huevos de mesa en Estados Unidos, 2013. *USDA:APHIS:VS*.

Departamento de Agricultura de EE.UU., Oficina del Economista Jefe, 2023. Informe de Estimaciones de la Oferta y la Demanda Agrícola Mundial (WASDE). Disponible en: <https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/>.

Productores Unidos de Huevos, 2024. Hechos y estadísticas - Utilización de los huevos estadounidenses. Disponible en: <https://unitedegg.com/facts-stats/>.

USDA-AMS, 2023. Ejecute un informe personalizado. *USDA AMS Noticias del mercado ganadero, avícola y de cereales*. Disponible en: <https://marketnews.usda.gov/mnp/py-report-config>.

Departamento de Agricultura de EE.UU., Servicio de Inspección de Sanidad Animal y Vegetal (USDA- APHIS), 2011. Estructura de la industria avícola estadounidense, 2010. Disponible en: https://www.aphis.usda.gov/animal_health/naahms/poultry/downloads/poultry10/Poultry10_dr_Structure_1.pdf.

Departamento de Agricultura de EE.UU., Servicio de Inspección de Sanidad Animal y Vegetal (USDA- APHIS), 2014. Directrices NAHEMS: vigilancia, epidemiología y rastreo. *FAD PreP Plan de preparación y respuesta ante enfermedades animales extranjeras*. Disponible en: http://www.aphis.usda.gov/animal_health/emergency_management/downloads/nahe_ms_guidelines/nahe_ms_sur_epti_trac.pdf.

USDA-APHIS, 2022. WOH y normas internacionales. Disponible en: <https://www.aphis.usda.gov/aphis/ourfocus/animalhealth/nvap/NVAP-Reference-Guide/Animal-Health-Emergency-Management/OIE-and-International-Standards>.

USDA-APHIS, 2023. 2022-2023 Confirmaciones de Influenza Aviar Altamente Patógena en Parvadas Comerciales y de Traspatio. Disponible en: <https://www.aphis.usda.gov/aphis/nuestroenfoco/saludanimal/informacion-enfermedades-animales/avia/influenza-aviar/hpai-2022/2022-hpai-commercial-backyard-flocks>.

Departamento de Agricultura de EE.UU., Servicio de Investigación Económica (USDA-ERS), 2023a. Los precios mayoristas del huevo caen mientras se recupera la oferta. Disponible en: <https://www.ers.usda.gov/data-products/chart-gallery/gallery/chart-detail/?chartId=106845>.

USDA-ERS, 2023b. El sector avícola de un vistazo. Disponible en: <https://www.ers.usda.gov/to-pics/animal-products/poultry-eggs/sector-at-a-glance/#:~:text=Total%20poultry%20sector%20sales%20in,broilers%20increased%20production%20from%20202021>.

USDA-ERS, 2023c. Sistema de datos de disponibilidad de alimentos (per cápita). Disponible en: <http://www.ers.usda.gov/data-products/food-availability-per-capita-data-system/>.

Von Cramon-Taubadel, S., Goodwin, B.K., 2021. Transmisión de precios en los mercados agrícolas. *Ann. Rev. Resour. Econ.* 13, 65-84.

Wahdat, A.Z., Lusk, J.L., 2023. El talón de Aquiles de las industrias alimentarias estadounidenses: la exposición a la mano de obra y las industrias ascendentes en la cadena de suministro. *Am. J. Agric. Econ.* 105 (2), 624-643.

Wang, L.F., Cramer, G., 2014. Enfermedades víricas zoonóticas emergentes. *Rev. Sci. Tech.* 33 (2), 569-581.

Wang, Y., Massa, O.I., Stewart, S.L., 2024. Reacción variable en el tiempo de la demanda de carne estadounidense ante los brotes de enfermedades animales. *Appl. Econ. Perspect. Policy* 1-27.

Xiong, T., Zhang, W., Chen, C.T., 2021. La fortuna de la desgracia: Evidencias de las respuestas de las cotizaciones bursátiles de las empresas porcinas a los brotes de peste porcina africana en China. *Política alimentaria* 105, 102150.