

PROSPECTIVA DE LOS REQUERIMIENTOS DE CALIDAD E INOCUIDAD PARA LOS ALIMENTOS ARGENTINOS EN SUS MERCADOS DE EXPORTACIÓN: MODELIZACIÓN MEDIANTE CADENAS DE MARKOV

PROSPECTIVE ANALYSIS OF QUALITY AND SAFETY REQUIREMENTS FOR ARGENTINE FOODS IN THEIR EXPORT MARKETS: MODELING THROUGH MARKOV CHAINS

ALDERETE, Juan Manuel¹

UGARTE, Mariana Gabriela²

BEAUFORT, Clarisa³

FASANA, Fabiana Inés⁴

ÁLVAREZ, Lorena⁵

GOMEZ, Carolina Lihuén⁶

PLANAS, Victoria⁷

Alderete, J. M., Ugarte, M. G., Beaufort, C., Fasana, F. I., Álvarez, L., Gomez, C. L., Planas, V. (2026). Prospectiva de los requerimientos de calidad e inocuidad para los alimentos argentinos en sus mercados de exportación: modelización mediante cadenas de Markov. *Revista INNOVA, Revista argentina de Ciencia y Tecnología*, 17.

¹ Universidad Nacional de Lanús, Argentina / direccionsa@gmail.com/ ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2064-9654>

² Universidad Nacional de Lanús, Argentina / mugarte@unla.edu.ar

³ Universidad Nacional de Lanús, Argentina / clenyunla@gmail.com

⁴ Universidad Nacional de Lanús, Argentina / fabianafasana@gmail.com

⁵ Universidad Nacional de Lanús, Argentina / lavarez@unla.edu.ar

⁶ Universidad Nacional de Lanús, Argentina / caro.lihuen.gomez@gmail.com

⁷ Universidad Nacional de Lanús, Argentina / planasvictoriasol@gmail.com

RESUMEN

El artículo analiza la evolución probable de los requerimientos de calidad e inocuidad aplicables a los alimentos exportados desde Argentina hacia los principales mercados internacionales durante el período 2025-2035. La investigación combinó revisión documental, entrevistas en profundidad, consulta experta tipo Delphi y modelización mediante cadenas de Markov. Se definieron tres estados de evolución de las exigencias: predominio de normas públicas de inocuidad, centralidad de estándares privados de inocuidad y consolidación de sistemas de diferenciación orientados a la sostenibilidad. Los resultados muestran una tendencia general al desplazamiento desde exigencias centradas exclusivamente en inocuidad hacia esquemas más complejos, en los que adquieren creciente relevancia la trazabilidad, la respuesta documental, la sostenibilidad y la capacidad organizacional de los oferentes. Sin embargo, la intensidad de esa transición no es homogénea entre mercados. La Unión Europea y Japón presentan trayectorias marcadamente orientadas a sistemas de diferenciación, mientras que Mercosur y Asia-Pacífico muestran transiciones más graduales. El trabajo concluye que la competitividad futura del sector agroalimentario argentino dependerá, en buena medida, de su capacidad para anticipar trayectorias regulatorias diferenciadas y sostener procesos de adaptación estratégica.

PALABRAS CLAVE

calidad alimentaria, inocuidad, prospectiva, cadenas de Markov, comercio agroalimentario

ABSTRACT

This article analyses the likely evolution of quality and food safety requirements affecting Argentine food exports to major international markets during the 2025-2035 period. The research combined documentary review, in-depth interviews, Delphi-type expert consultation and Markov chain modelling. Three states of requirement evolution were defined: predominance of public food safety regulations, centrality of private food safety standards, and consolidation of sustainability-oriented differentiation systems. Results show a general shift from requirements focused exclusively on food safety toward more complex frameworks in which traceability, documentary compliance, sustainability and organizational capabilities become increasingly relevant. However, the intensity of this

transition varies across markets. The European Union and Japan display trajectories strongly oriented toward differentiation systems, while Mercosur and Asia-Pacific show more gradual transitions. The article concludes that the future competitiveness of the Argentine agrifood sector will depend, to a significant extent, on its ability to anticipate differentiated regulatory trajectories and sustain strategic adaptation processes.

KEY WORDS

food quality, food safety, foresight, Markov chains, agrifood trade

Contexto

El trabajo se sitúa en el campo de Ingeniería y Tecnología, con aplicación en alimentos y bebidas, y fue concebido para anticipar la evolución de los requerimientos de calidad e inocuidad en los principales mercados internacionales de alimentos exportados desde Argentina. La pregunta que orientó la investigación fue cómo evolucionarán dichas exigencias durante el período 2025-2035 y qué lineamientos estratégicos pueden derivarse para los actores del sector agroalimentario argentino. El diseño del estudio partió de la hipótesis de que la gobernanza de la calidad alimentaria tiende a desplazarse desde marcos centrados en regulaciones públicas de inocuidad hacia esquemas más amplios, en los que confluyen estándares privados, trazabilidad y sistemas de diferenciación ligados a sostenibilidad.

Introducción

La evolución de los sistemas de calidad e inocuidad alimentaria constituye un problema central para los países exportadores, ya que condiciona tanto el acceso a mercados como la posibilidad de capturar valor en segmentos de mayor exigencia. La literatura ha mostrado que la regulación agroalimentaria contemporánea no se agota en normas públicas de inocuidad, sino que incorpora progresivamente estándares privados, exigencias de trazabilidad, atributos de autenticidad y criterios asociados a sostenibilidad (Henson & Reardon, 2005; Hatanaka et al., 2005). En términos analíticos, esto supone que la competitividad internacional ya no depende solo del cumplimiento de un umbral sanitario mínimo, sino también de la capacidad de responder a dispositivos complejos de verificación y diferenciación.

Esta problemática adquiere particular relevancia para Argentina. El país mantiene una inserción internacional fuertemente asociada a bienes agroalimentarios y, en consecuencia, se encuentra expuesto a cambios en las exigencias impuestas por bloques y mercados diversos. Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (2025), en 2024 las manufacturas de origen agropecuario representaron una porción significativa de las exportaciones argentinas, mientras que Brasil, China y Estados Unidos se mantuvieron entre los principales destinos del comercio exterior total argentino. Al mismo tiempo, la dinámica reciente del rubro alimentos muestra una creciente gravitación de destinos asiáticos y regionales. Esto vuelve metodológicamente inadecuado asumir una única trayectoria regulatoria para todos los mercados de inserción.

La actualización normativa refuerza esa lectura. GFSI continúa operando como sistema de reconocimiento de programas de certificación; FSSC 22000 mantiene vigencia en su versión 6; BRCGS sigue trabajando con Food Safety Issue 9; e IFS Food se encuentra en versión 8 (Global Food Safety Initiative, 2024; Food Safety System Certification Foundation, 2023; BRCGS, 2022; IFS Management GmbH, 2023). En paralelo, la trazabilidad alimentaria y la debida diligencia en sostenibilidad adquirieron mayor densidad regulatoria en mercados clave. En consecuencia, la pregunta por la evolución de los requerimientos de calidad e inocuidad debe formularse hoy en un entorno en el cual la inocuidad sigue siendo central, pero integrada en arquitecturas más amplias de control, evidencia documental y diferenciación.

En este marco, el presente artículo propone una aproximación prospectiva basada en cadenas de Markov. La prospectiva, entendida como construcción razonada de futuros plausibles, no busca predecir de manera determinista, sino organizar la incertidumbre y proveer marcos analíticos para la toma de decisiones estratégicas (Van der Heijden, 2005). En este caso, el interés se centra en modelar cómo podrían evolucionar los requerimientos de calidad e inocuidad en mercados relevantes para los alimentos exportados desde Argentina.

La contribución del trabajo reside en articular conocimiento experto, formalización probabilística y aplicación sectorial al caso argentino. A partir de consultas realizadas a ocho informantes calificados, con trayectorias vinculadas a la gestión pública agroalimentaria, la certificación, la implementación de normas, la producción orgánica y agroecológica, y la comercialización internacional de alimentos, se construyó una base interpretativa sobre la evolución esperada de las exigencias de mercado. Esa información fue organizada en tres estados posibles y utilizada para estimar probabilidades de transición entre ellos. De este modo, el artículo procura traducir información cualitativa especializada en trayectorias

comparables de cambio, aportando una herramienta de análisis prospectivo para la inserción internacional del sector agroalimentario argentino.

Objetivos

El objetivo general del trabajo es analizar la evolución probable de los requerimientos de calidad e inocuidad en los principales mercados internacionales de alimentos exportados desde Argentina, utilizando cadenas de Markov como herramienta de modelización prospectiva.

De manera específica, el estudio se propuso identificar tendencias globales en normas y sistemas de calidad alimentaria, analizar el comportamiento diferencial de los principales mercados, relevar conocimiento experto sobre la evolución esperada de certificaciones y normativas, modelar probabilísticamente trayectorias de cambio entre estados de exigencia y elaborar lineamientos interpretativos para la planificación estratégica del sector agroalimentario argentino.

Metodología

El diseño metodológico adoptó un enfoque mixto, combinando revisión documental, investigación cualitativa y modelización probabilística. En una primera fase se relevaron normas, estándares y tendencias vinculadas con inocuidad, certificación, trazabilidad y sostenibilidad. En una segunda fase se implementó una estrategia de elicitación de conocimiento experto, mediante entrevistas en profundidad y consulta tipo Delphi. En una tercera fase se formalizaron estados posibles de evolución de las exigencias y se modelaron sus transiciones mediante cadenas de Markov.

La elicitación de conocimiento experto resultó especialmente pertinente porque el objeto de estudio no se reduce a información estadística observable, sino que involucra juicios sobre trayectorias regulatorias, velocidades de adopción y plausibilidad de escenarios (Ramírez Leal, 2013; Van der Heijden, 2005). En este estudio se trabajó con perfiles heterogéneos y complementarios, incluyendo referentes de gestión pública agroalimentaria, especialistas en producción orgánica y agroecología, actores vinculados con certificación y aseguramiento, implementadores de normas de calidad y perfiles empresarios ligados a la exportación y comercialización internacional de alimentos. Esa diversidad permitió triangular perspectivas regulatorias, técnicas, organizacionales y comerciales, fortaleciendo la consistencia interpretativa del relevamiento cualitativo (Ramírez Leal, 2013).

En términos formales, una cadena de Markov permite modelar transiciones entre estados discretos, mutuamente excluyentes y colectivamente exhaustivos, bajo el supuesto de dependencia respecto del estado inmediatamente anterior (Howard, 1971; Vega, 2004). En ese marco, su uso resulta especialmente pertinente para representar trayectorias probables de cambio con una estructura analítica parsimoniosa.

Se definieron tres estados para cada mercado o bloque analizado: **E1**, predominio de normas públicas de inocuidad; **E2**, centralidad de estándares privados de inocuidad; y **E3**, consolidación de sistemas de diferenciación orientados a la sostenibilidad. Esta tipología respondió al marco conceptual del estudio y a la secuencia teórica descrita por la literatura sobre gobernanza agroalimentaria internacional (Henson & Reardon, 2005). Cada unidad de análisis fue representada mediante una matriz de transición y un vector de estado inicial.

El horizonte temporal se trabajó en pasos discretos de tres años. Esta decisión respondió a un criterio sustantivo adoptado en la investigación: se consideró que tres años constituían un lapso mínimo razonable para que una empresa ajuste procesos, sistemas documentales y dispositivos de certificación en el marco de un ciclo de mejora continua. A partir de ese supuesto, se proyectó la distribución esperada de estados hacia 2030.

La implementación operativa de las cadenas de Markov se realizó en un entorno computacional desarrollado en Python, complementado con herramientas de asistencia basadas en inteligencia artificial para la sistematización de insumos, la verificación de consistencia y la organización del procesamiento analítico. Este enfoque contribuyó a dotar de mayor robustez, trazabilidad y reproducibilidad al ejercicio prospectivo.

Resultados y Discusión

Los resultados muestran una dirección general convergente. En todos los mercados analizados se observa una reducción relativa de la centralidad exclusiva de las normas públicas de inocuidad, junto con un incremento del peso de los estándares privados y, especialmente, de los sistemas de diferenciación orientados a la sostenibilidad. Sin embargo, la velocidad y profundidad de esa transición no son homogéneas. Este hallazgo es relevante porque impide formular estrategias de adaptación exportadora sobre la base de un único patrón internacional de cambio.

Para el bloque norteamericano, integrado por Estados Unidos, México y Canadá, el modelo proyectó hacia 2030 una distribución de 0% en E1, 20% en E2 y 80% en E3.

El resultado sugiere una consolidación muy marcada de sistemas de diferenciación orientados a sostenibilidad, con pérdida de relevancia relativa de los estándares públicos como eje diferenciador. Esta trayectoria resulta coherente con la creciente densidad de los dispositivos de trazabilidad en Estados Unidos y con la madurez institucional del espacio norteamericano en materia de control alimentario. No implica que la inocuidad pública desaparezca, sino que pasa a operar como piso consolidado, mientras el espacio competitivo se desplaza hacia dispositivos más complejos de validación.

En **Mercosur**, la proyección hacia 2030 fue de 11% para E1, 41% para E2 y 48% para E3. En este caso la transición es más gradual. Los resultados indican que la región tendería a combinar una persistencia relativa de marcos públicos y privados de base con un aumento sostenido de la gravitación de sistemas de diferenciación. Desde el punto de vista estratégico, el resultado sugiere que, para el comercio regional, no bastará con sostener un enfoque exclusivamente sanitario, pero tampoco será suficiente una lógica puramente reputacional de sostenibilidad. Lo esperable es un escenario híbrido, donde la competitividad dependa de la combinación entre cumplimiento técnico robusto y diferenciación progresiva.

La **Unión Europea** presenta la trayectoria más intensa hacia E3. El modelo proyectó una composición de 0% en E1, 4% en E2 y 96% en E3 hacia 2030. Este resultado se ve reforzado por la actualización normativa disponible: la profundización de exigencias de trazabilidad, diligencia debida y sostenibilidad en la UE confirma que el acceso a ese mercado depende cada vez más de la capacidad de demostrar desempeño ampliado, no solo inocuidad. En este caso, la prospectiva no sugiere una modificación marginal, sino un desplazamiento estructural en la lógica de validación de los alimentos.

Para **APTA**, la proyección fue de 18% en E1, 39% en E2 y 44% en E3. A diferencia de la Unión Europea, aquí la transición resulta más equilibrada. El dato es relevante porque Asia-Pacífico aparece cada vez más como un frente comercial dinámico para los alimentos argentinos. La prospectiva indica que este espacio no debe leerse como homogéneo ni como meramente menos exigente, sino como un ámbito de coexistencia entre marcos públicos, estándares privados y demandas crecientes de sostenibilidad. De allí que la principal implicancia para Argentina sea desarrollar capacidades flexibles de adaptación, aptas para responder a configuraciones regulatorias mixtas.

Los casos de **Japón** y **Federación Rusa** ofrecen un contraste analítico útil. Japón se aproxima casi plenamente a E3, mientras Rusia mantiene una transición más contenida, con mayor persistencia relativa de E1 y E2. Este contraste permite observar que los ritmos de adopción de sistemas orientados a sostenibilidad dependen de historias institucionales, patrones de consumo y configuraciones

regulatorias específicas. La principal contribución del modelo no consiste solamente en identificar una dirección general de cambio, sino en mostrar que dicha dirección se distribuye con intensidades diferenciales según mercado.

Desde una perspectiva sustantiva, los resultados permiten afirmar que la transición dominante no consiste en el reemplazo simple de normas públicas por certificaciones privadas. Lo que emerge es una arquitectura más compleja. Las normas públicas tienden a consolidarse como base regulatoria; los estándares privados de inocuidad se estabilizan como condición de operación; y los sistemas de diferenciación ligados a sostenibilidad, trazabilidad y transparencia se convierten progresivamente en el principal espacio de competencia y legitimación. Esta lectura es consistente con la evolución reciente de los principales esquemas globales, que integran cada vez más inocuidad, autenticidad, cultura de seguridad, gestión documental y mejora continua (Global Food Safety Initiative, 2024; Food Safety System Certification Foundation, 2023; BRCGS, 2022; IFS Management GmbH, 2023).

Para el sector agroalimentario argentino, esto implica que la competitividad futura dependerá menos de responder aisladamente a una norma puntual y más de construir capacidades de adaptación organizacional. Tales capacidades incluyen trazabilidad verificable, arquitectura documental sólida, gestión integrada de certificaciones, lectura estratégica de mercados y posibilidad de articular calidad, sostenibilidad y valor comercial. Este punto resulta especialmente sensible para las PyMEs, ya que el tránsito hacia estados de mayor complejidad exige recursos, aprendizajes y continuidad de procesos de mejora que no siempre están disponibles de manera inmediata.

Conclusiones

El estudio permitió representar de manera comparativa la evolución probable de los requerimientos de calidad e inocuidad en distintos mercados relevantes para los alimentos exportados desde Argentina. Su principal aporte consiste en mostrar que la transición hacia esquemas más complejos de validación no sigue una trayectoria uniforme, sino diferenciada según bloque, historia institucional y lógica de mercado. La heterogeneidad observada entre América del Norte, Mercosur, Unión Europea, Asia-Pacífico, Japón y Rusia constituye, en sí misma, un hallazgo estratégico.

Los resultados obtenidos indican una dirección general clara: la inocuidad pública permanece como condición de base, pero pierde centralidad como variable diferenciadora; los estándares privados consolidan su lugar como requisito operativo; y los sistemas de diferenciación orientados a sostenibilidad adquieren

creciente importancia como núcleo de legitimación comercial. En mercados como la Unión Europea y Japón, esa transición aparece particularmente intensa. En otros, como Mercosur y Asia-Pacífico, se expresa de manera más gradual, pero igualmente significativa.

Desde el punto de vista metodológico, el trabajo también muestra la utilidad de articular técnicas de elicitación de conocimiento experto con herramientas de modelización probabilística implementadas en entornos computacionales contemporáneos, en línea con enfoques que combinan construcción de escenarios, juicio experto y formalización analítica en contextos de incertidumbre (Ramírez Leal, 2013; Van der Heijden, 2005). En particular, el uso de Python, complementado con recursos de asistencia basados en inteligencia artificial, permitió organizar y procesar de manera consistente la información utilizada, fortaleciendo la trazabilidad y la reproducibilidad del análisis.

En términos de política y gestión, el estudio sugiere priorizar el fortalecimiento de la trazabilidad, la profesionalización documental, la jerarquización de certificaciones estratégicas y el apoyo diferenciado a PyMEs en procesos de reconversión. Desde una perspectiva académica, el artículo aporta una aplicación concreta de cadenas de Markov al análisis prospectivo de normas y exigencias agroalimentarias, integrando juicio experto, revisión documental y modelización estocástica en un campo en el que esta articulación metodológica resulta todavía poco habitual.

Bibliografía

BRCGS. (2022). *Global standard food safety issue 9*. BRCGS.

Food Safety System Certification Foundation. (2023). *FSSC 22000 scheme version 6*. FSSC.

Global Food Safety Initiative. (2024). *Benchmarking requirements 2024*. The Consumer Goods Forum.

Hatanaka, M., Bain, C., & Busch, L. (2005). Third-party certification in the global agri-food system. *Food Policy*, 30(3), 354–369.

Henson, S., & Reardon, T. (2005). Private agri-food standards: Implications for food policy and the agri-food system. *Food Policy*, 30(3), 241–253.

Howard, R. A. (1971). *Dynamic probabilistic systems* (Vol. 1). Wiley.

IFS Management GmbH. (2023). *IFS Food version 8*. IFS.

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2025). *Intercambio comercial argentino. Cifras acumuladas de 2024*. INDEC.

Ramírez Leal, J. C. (2013). *Apropiación de técnicas de elicitación de conocimiento y de comunicación personalizadas para potenciar el proceso de ingeniería de requisitos* [Tesis doctoral, Universidad EAFIT].

Van der Heijden, K. (2005). *Scenarios: The art of strategic conversation* (2nd ed.). Wiley.

Vega, M. V. (2004). *Cadenas de Markov de tiempo continuo y aplicaciones*.

Fecha de recepción: 15/4/2026

Fecha de aceptación: 24/4/2026