

## **Colusión algorítmica y derecho de la competencia: hacia un modelo regulatorio tecnológicamente adaptativo para los mercados digitales**

Algorithmic Collusion and Competition Law: Toward a Technologically Adaptive Regulatory Model for Digital Markets

**Fernando Ramos-Zaga<sup>1</sup>**  
Universidad Privada del Norte, Peru

**Resumo:** La irrupción de la inteligencia artificial en los mercados contemporáneos ha generado una transformación estructural en la lógica competitiva, desplazando el eje tradicional del derecho antitrust desde la voluntad humana hacia la agencia técnica automatizada. La presente investigación analiza críticamente los desafíos que la colusión algorítmica plantea al derecho de la competencia, examinando la insuficiencia de las categorías jurídicas clásicas (acuerdo, intención, culpabilidad) frente a sistemas de aprendizaje automático capaces de converger en estrategias anticompetitivas sin comunicación explícita. Mediante un análisis comparativo de las respuestas regulatorias europeas y estadounidenses, se identifican tres vacíos estructurales: normativos, procesales e institucionales. La investigación propone un modelo regulatorio adaptativo fundamentado en tres pilares: la imputación tecnológica basada en previsibilidad razonable del daño, la trazabilidad algorítmica mediante auditorías técnicas escalables, y la proporcionalidad institucional que ajusta las exigencias regulatorias a la capacidad de cada jurisdicción. Los hallazgos demuestran que la colusión algorítmica constituye un punto de inflexión histórico que exige abandonar el paradigma antropocéntrico de la responsabilidad y adoptar criterios de culpa técnica *in eligendo e in vigilando*. La efectividad regulatoria depende de la construcción de una arquitectura jurídica que articule reforma sustantiva, procesal y organizativa, garantizando coherencia entre ambición normativa y viabilidad técnica en contextos de asimetría institucional.

**Palavras-chave:** Colusión algorítmica; Culpa técnica; Derecho de la competencia; Imputación tecnológica; Inteligencia artificial; Proporcionalidad institucional; Trazabilidad algorítmica;

**Abstract:** The emergence of artificial intelligence in contemporary markets has generated a structural transformation in competitive logic, shifting the traditional axis of antitrust law from human volition toward automated technical agency. This research critically analyzes the challenges that algorithmic collusion poses to competition law, examining the insufficiency of classical legal categories (agreement, intent, culpability) when confronted with machine learning systems capable of converging on anticompetitive strategies without explicit communication. Through comparative analysis of European and American regulatory

---

<sup>1</sup> Professor da Faculdade de Direito e Ciência Política, Universidad Privada del Norte, Lima, Peru. Email: [fernandozaga@gmail.com](mailto:fernandozaga@gmail.com)

responses, three structural gaps are identified: normative, procedural, and institutional. The research proposes an adaptive regulatory model grounded in three pillars: technological attribution based on reasonable foreseeability of harm, algorithmic traceability through scalable technical audits, and institutional proportionality that adjusts regulatory requirements to each jurisdiction's capacity. The findings demonstrate that algorithmic collusion constitutes a historical turning point requiring abandonment of the anthropocentric paradigm of responsibility and adoption of technical fault criteria *in eligendo* and *in vigilando*. Regulatory effectiveness depends on constructing a legal architecture that articulates substantive, procedural, and organizational reform, ensuring coherence between normative ambition and technical viability in contexts of institutional asymmetry.

**Keywords:** Algorithmic collusion; Algorithmic traceability; Artificial intelligence; Competition law; Institutional proportionality; Technical fault; Technological attribution.

## INTRODUÇÃO

La transformación digital de los mercados contemporáneos ha precipitado una crisis epistemológica en el derecho de la competencia. Durante más de un siglo, el derecho antitrust se construyó sobre la presunción fundamental de que las conductas anticompetitivas emanan de decisiones humanas deliberadas, susceptibles de ser identificadas, probadas y sancionadas mediante categorías jurídicas que privilegian la intencionalidad y el acuerdo expreso. Esta arquitectura conceptual, consolidada desde la Sherman Act de 1890 y el Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea, enfrenta ahora un desafío sin precedentes: la emergencia de sistemas algorítmicos capaces de coordinar precios y estrategias competitivas sin intervención humana directa, generando efectos económicos equivalentes a la colusión tradicional pero mediante mecanismos técnicos que eluden las categorías jurídicas establecidas (Ezrachi & Stucke, 2016).

La colusión algorítmica representa una mutación fundamental en la estructura de los mercados digitales. Estudios experimentales han demostrado que algoritmos de aprendizaje por refuerzo pueden alcanzar y sostener precios supracompetitivos mediante la observación recursiva del comportamiento de competidores, sin necesidad de comunicación, acuerdo o diseño explícito orientado a la coordinación (Calvano et al., 2020). Esta capacidad de convergencia autónoma cuestiona los fundamentos mismos del análisis anticompetitivo, pues desplaza el locus de imputación desde la voluntad humana hacia la agencia técnica, erosionando las fronteras entre competencia legítima, paralelismo consciente y coordinación ilícita. La

distinción tradicional entre conducta unilateral permitida y concertación prohibida se desvanece cuando los sistemas aprenden estrategias colusorias como resultado emergente de su programación para maximizar beneficios en entornos oligopólicos.

La literatura jurídica y económica contemporánea ha identificado esta problemática como uno de los desafíos más complejos para la regulación de mercados digitales. La doctrina clásica del acuerdo, desarrollada en casos emblemáticos como *United States v. Socony-Vacuum Oil Co.* (1940) y consolidada en la interpretación del artículo 101 del TFUE, presupone la existencia de una voluntad común expresada mediante comunicación verificable. Sin embargo, los algoritmos operan mediante lógicas de optimización que prescinden de la deliberación consciente, generando coordinación como efecto sistémico de la interacción automatizada (Mehra, 2016). Esta divergencia entre el sustrato técnico de las conductas contemporáneas y las categorías jurídicas tradicionales genera una asimetría estructural que compromete la efectividad del enforcement anticompetitivo.

La opacidad algorítmica agrava sustancialmente este desafío. Los sistemas de inteligencia artificial basados en aprendizaje profundo operan frecuentemente como cajas negras cuya lógica decisional no puede ser reconstruida mediante análisis *ex post*, impidiendo determinar si el comportamiento colusorio fue resultado de programación deliberada, aprendizaje emergente o simple convergencia estadística (Burrell, 2016). Esta indeterminación epistemológica tiene implicaciones normativas severas, pues vulnera principios fundamentales del debido proceso y los derechos de defensa, al imposibilitar la trazabilidad causal necesaria para la imputación de responsabilidad jurídica (Selbst & Barocas, 2018). La falta de explicabilidad algorítmica no constituye meramente un obstáculo técnico, sino una limitación estructural que desafía la arquitectura probatoria del derecho procesal competitivo.

La respuesta regulatoria global ha sido fragmentaria y asimétrica. Mientras la Unión Europea avanza hacia modelos de gobernanza preventiva mediante instrumentos como el Digital Markets Act y el AI Act, que incorporan principios de transparencia algorítmica y auditabilidad técnica (European Commission, 2021), muchas jurisdicciones emergentes carecen de los recursos normativos, técnicos e institucionales necesarios para supervisar sistemas algorítmicos complejos. Esta brecha genera una doble consecuencia: la impunidad de comportamientos colusorios automatizados y la consolidación de asimetrías regulatorias que perpetúan la dependencia tecnológica respecto de plataformas globales (Gal, 2019; UNCTAD,

2020). La ausencia de cooperación transfronteriza efectiva agrava esta fragmentación, impidiendo la construcción de estándares globales coherentes para la gobernanza algorítmica.

La situación problemática se manifiesta en tres niveles interdependientes. En el plano conceptual, las categorías tradicionales de acuerdo, intención y culpabilidad resultan inadecuadas para capturar conductas donde la coordinación emerge de dinámicas autoaprendidas sin intervención volitiva. En el nivel institucional, las agencias de competencia enfrentan vacíos normativos, procesales y organizativos que limitan su capacidad para detectar, investigar y sancionar conductas algorítmicas anticompetitivas. En la dimensión global, la fragmentación regulatoria y la ausencia de mecanismos de cooperación internacional impiden la construcción de un régimen coherente de gobernanza tecnológica (OECD, 2021; Sokol, 2021).

La relevancia de esta investigación radica en la necesidad urgente de desarrollar un marco regulatorio adaptativo que preserve la efectividad del derecho de la competencia sin sofocar la innovación tecnológica. La colusión algorítmica no constituye un fenómeno marginal o hipotético, sino una realidad empíricamente documentada en mercados digitales de alta frecuencia, plataformas de comercio electrónico y sistemas automatizados de fijación de precios (Assad et al., 2021; Schwalbe, 2021). La magnitud del desafío exige una respuesta integral que articule reforma sustantiva, procesal e institucional, fundamentada en evidencia empírica y análisis comparativo de experiencias regulatorias divergentes.

El objetivo general de esta investigación consiste en analizar críticamente los desafíos que la colusión algorítmica plantea al derecho de la competencia y desarrollar un modelo regulatorio adaptativo que integre imputación tecnológica, trazabilidad algorítmica y proporcionalidad institucional como fundamentos para una gobernanza efectiva de los mercados digitales. Este objetivo se desagrega en cuatro dimensiones específicas. Primero, examinar los límites teóricos del concepto tradicional de acuerdo y culpa en contextos de coordinación automatizada, identificando su insuficiencia frente a la agencia técnica de los algoritmos. Segundo, evaluar los mecanismos técnicos y económicos mediante los cuales los sistemas de aprendizaje automático generan conductas colusorias autónomas y sus implicaciones para la imputabilidad jurídica. Tercero, analizar comparativamente las respuestas regulatorias y jurisprudenciales entre la Unión Europea y Estados Unidos, identificando modelos de gobernanza transferibles y brechas estructurales. Cuarto, proponer un marco de

responsabilidad tecnológica basado en la previsibilidad razonable del daño y en la culpa técnica in eligendo e in vigilando, aplicable a diseñadores, operadores y beneficiarios de sistemas algorítmicos.

La metodología adoptada integra análisis doctrinal, examen jurisprudencial comparado, revisión de literatura económica experimental y evaluación de instrumentos regulatorios contemporáneos. La investigación se estructura en cuatro secciones principales que abordan sucesivamente la crisis conceptual del paradigma tradicional, los mecanismos técnicos de la colusión algorítmica, el análisis comparativo de respuestas regulatorias, y la propuesta de un modelo adaptativo de gobernanza tecnológica. Esta arquitectura argumentativa permite construir progresivamente una comprensión integral del fenómeno, identificando tanto las limitaciones del derecho vigente como los fundamentos para una reconstrucción normativa coherente con la realidad tecnológica contemporánea.

La hipótesis central sostiene que la efectividad del derecho de la competencia frente a la colusión algorítmica depende del abandono del paradigma antropocéntrico de la responsabilidad y la adopción de criterios de culpa técnica fundamentados en la previsibilidad razonable del daño, la trazabilidad algorítmica mediante auditorías escalables, y la proporcionalidad institucional que ajusta las exigencias regulatorias a la capacidad de cada jurisdicción. Esta transformación exige una reconstrucción integral que articule dimensiones sustantivas, procesales y organizativas, garantizando coherencia entre ambición normativa y viabilidad técnica en contextos de asimetría institucional.

## **1 LA INSUFICIENCIA DEL PARADIGMA TRADICIONAL: CRISIS CONCEPTUAL DEL ACUERDO Y LA INTENCIONALIDAD**

El derecho de la competencia se edificó históricamente sobre la presunción de que las conductas anticompetitivas constituyen manifestaciones de voluntad humana susceptibles de ser identificadas mediante categorías jurídicas que privilegian la intencionalidad, el acuerdo y la comunicación verificable. La doctrina del acuerdo, consolidada en la jurisprudencia estadounidense desde *United States v. Socony-Vacuum Oil Co.* (1940) y en la tradición europea mediante la interpretación del artículo 101 del TFUE, establece que la concertación anticompetitiva requiere una voluntad común expresada mediante contacto directo o indirecto

entre competidores. Esta arquitectura conceptual presupone la existencia de un sujeto deliberante capaz de formar intención, comunicarla y ejecutarla mediante conductas observables que pueden ser probadas y sancionadas (Kaplow, 2013).

La emergencia de sistemas algorítmicos desestabiliza radicalmente este paradigma. Los algoritmos de aprendizaje automático operan mediante lógicas de optimización que prescinden de la deliberación consciente, generando coordinación como efecto emergente de la interacción recursiva con el entorno competitivo. La coordinación algorítmica no requiere acuerdo previo, comunicación explícita ni intención compartida, sino que emerge de la convergencia estadística hacia estrategias que maximizan beneficios en contextos oligopólicos (Ezrachi & Stucke, 2016). Esta divergencia estructural entre la racionalidad algorítmica y las categorías jurídicas tradicionales genera una crisis de adecuación que compromete la efectividad del enforcement anticompetitivo.

La doctrina clásica del paralelismo consciente ilustra la rigidez del paradigma tradicional. El derecho de la competencia distingue entre conducta paralela permitida, resultado de la racionalidad oligopólica donde cada competidor ajusta independientemente su estrategia en respuesta a las condiciones del mercado, y concertación prohibida, que presupone comunicación y acuerdo. Esta distinción se fundamenta en la necesidad de preservar la autonomía decisional de los agentes económicos, protegiendo la competencia legítima de la sobrerregulación. Sin embargo, cuando los algoritmos aprenden estrategias colusorias mediante observación recursiva del comportamiento competitivo, la frontera entre paralelismo consciente y concertación se desvanece, pues la coordinación emerge sin comunicación, pero con efectos económicos equivalentes a la colusión tradicional (Mehra, 2016).

La jurisprudencia europea ha intentado flexibilizar esta distinción mediante conceptos como la concertación presunta y la responsabilidad por participación pasiva en entornos digitales manipulados. En *Eturas v. Lithuania* (C-74/14), el Tribunal de Justicia de la Unión Europea sostuvo que la aceptación tácita de restricciones implementadas mediante sistemas técnicos puede constituir concertación, introduciendo una concepción estructural del acuerdo que prescinde de la comunicación directa. Sin embargo, esta jurisprudencia no resuelve el problema fundamental de la colusión algorítmica autónoma, donde no existe voluntad humana de aceptar restricciones sino convergencia automática hacia estrategias anticompetitivas (Schrepel, 2019).

La práctica estadounidense mantiene una interpretación más restrictiva centrada en la evidencia de comunicación o contacto entre competidores. La doctrina del plus factor, desarrollada en casos como *In re Text Messaging Antitrust Litigation* (2015), exige que la prueba de paralelismo consciente se complemente con factores adicionales que sugieran comunicación, tales como acciones contrarias al interés económico individual o intercambio de información sensible. Esta exigencia probatoria resulta inadecuada frente a algoritmos que convergen en estrategias colusorias sin comunicación, generando un vacío de enforcement donde conductas económicamente equivalentes a la colusión tradicional permanecen impunes por la imposibilidad de satisfacer estándares probatorios obsoletos (Crane, 2020).

El concepto de intencionalidad enfrenta una crisis similar. El derecho penal económico y el derecho administrativo sancionador presuponen la existencia de dolo o culpa como fundamento de la imputación subjetiva. Sin embargo, los sistemas algorítmicos carecen de intencionalidad en sentido jurídico, pues operan mediante funciones de optimización que maximizan objetivos programados sin referencia a valores normativos. La intencionalidad humana se diluye en una cadena de decisiones técnicas que incluyen el diseño del algoritmo, la selección de datos de entrenamiento, la definición de funciones objetivo y la implementación en entornos competitivos específicos (Hacker, 2018). Esta fragmentación de la causalidad dificulta la imputación de responsabilidad, pues ningún actor individual puede ser identificado como autor exclusivo del resultado colusorio.

La distinción entre culpa *in eligendo* (por elección inadecuada de sistemas) y culpa *in vigilando* (por supervisión deficiente de su operación) ofrece una vía conceptual para reconstruir la imputación en contextos algorítmicos. Esta distinción, proveniente de la responsabilidad civil por actividades peligrosas, permite atribuir responsabilidad a quien diseña, implementa o permite que un sistema aprenda estrategias anticompetitivas, aun sin intención específica de coludir. La culpa técnica se fundamenta en la previsibilidad razonable del daño, evaluada según estándares profesionales de diseño y supervisión algorítmica (Gal & Elkin-Koren, 2017). Este enfoque desplaza el eje de imputación desde la voluntad hacia la previsibilidad, permitiendo sancionar conductas algorítmicas sin exigir prueba de intencionalidad.

Sin embargo, la adopción de criterios de culpa técnica enfrenta obstáculos normativos y conceptuales significativos. El derecho de la competencia tradicional no contempla la

responsabilidad por diseño negligente de sistemas técnicos, centrándose exclusivamente en la sanción de acuerdos y abusos de posición dominante. La incorporación de estándares de culpa técnica requiere reforma legislativa que legitime la imputación basada en previsibilidad y establezca criterios objetivos para evaluar la diligencia debida en el diseño y supervisión de sistemas algorítmicos. La ausencia de estos estándares genera inseguridad jurídica y riesgo de sobreregulación, pues las empresas carecen de parámetros claros para evaluar el cumplimiento normativo (Petit, 2020).

La opacidad algorítmica agrava sustancialmente este desafío conceptual. Los sistemas de aprendizaje profundo basados en redes neuronales artificiales operan mediante miles o millones de parámetros cuya interacción genera decisiones que no pueden ser reconstruidas mediante análisis causal tradicional. Esta característica, identificada por Burrell (2016) como opacidad epistemológica, impide determinar *ex post* si el comportamiento colusorio fue resultado de programación deliberada, aprendizaje emergente o convergencia estadística fortuita. La indeterminación causal compromete la posibilidad misma de imputación jurídica, pues el derecho presupone la capacidad de identificar una relación de causalidad verificable entre conducta y resultado.

La propuesta de Selbst y Barocas (2018) sobre explicabilidad algorítmica contextual ofrece una alternativa pragmática. Estos autores sostienen que la explicabilidad no debe entenderse como reconstrucción causal completa del proceso decisional, sino como capacidad de identificar los factores relevantes que influyeron en el resultado y evaluar su coherencia con objetivos legítimos. Esta concepción funcional de la explicabilidad permite construir estándares probatorios ajustados a las limitaciones epistemológicas de los sistemas complejos, legitimando la imputación basada en indicios reforzados cuando la explicación causal completa resulta inaccesible.

La literatura económica experimental ha demostrado que la colusión algorítmica constituye un fenómeno empíricamente verificable con implicaciones estructurales para el análisis anticompetitivo. Calvano et al. (2020) implementaron algoritmos de Q-learning en un modelo de oligopolio de Bertrand, demostrando que los sistemas convergen autónomamente hacia precios supracompetitivos sin comunicación ni diseño explícito orientado a la coordinación. Los algoritmos aprenden a castigar desviaciones mediante guerras de precios temporales y recompensar la cooperación mediante estabilización de precios elevados,



replicando la lógica de los equilibrios colusorios tradicionales pero mediante mecanismos puramente técnicos.

Assad et al. (2021) extendieron estos hallazgos mediante experimentos que comparan la estabilidad de la colusión algorítmica con la colusión humana tradicional. Los resultados demuestran que los algoritmos sostienen precios supracompetitivos con mayor estabilidad y menor frecuencia de desviaciones que los sujetos humanos, pues carecen de sesgos conductuales que favorecen la competencia a corto plazo. Esta evidencia confirma que la colusión algorítmica no constituye una amenaza hipotética sino una realidad empírica que genera efectos económicos más severos que la coordinación humana tradicional.

Schwalbe (2021) propone un marco conceptual para identificar indicios algorítmicos de coordinación basado en la estabilidad de precios, la simetría de reacciones ante shocks exógenos, y la ausencia de incentivos unilaterales para desviar. Estos indicios, cuando convergen en un patrón coherente y sostenido, pueden constituir prueba suficiente de conducta anticompetitiva sin necesidad de demostrar comunicación o acuerdo explícito. Este enfoque basado en efectos observables desplaza el estándar probatorio desde la intencionalidad hacia la probabilidad estadística de que el comportamiento observado sea resultado de coordinación.

Harrington (2021) desarrolla una metodología econométrica para detectar colusión algorítmica mediante análisis de series temporales de precios, identificando patrones de variación que son inconsistentes con competencia independiente pero coherentes con coordinación automatizada. La aplicación de técnicas de machine learning para detectar anomalías en datos de precios permite construir prueba indiciaria robusta basada en la divergencia estadística entre comportamiento observado y comportamiento esperado bajo competencia. Esta metodología ofrece una vía pragmática para superar los obstáculos probatorios generados por la opacidad algorítmica, legitimando la inferencia de coordinación a partir de efectos económicos observables.

La insuficiencia del paradigma tradicional se manifiesta también en la dimensión temporal de la imputación. El derecho de la competencia sanciona conductas consumadas, exigiendo prueba de que el comportamiento anticompetitivo se ha materializado y generado efectos en el mercado. Sin embargo, los algoritmos aprenden progresivamente mediante ensayo y error, transitando gradualmente desde competencia independiente hacia coordinación colusoria. Esta evolución temporal dificulta la determinación del momento en que la conducta

deviene ilícita, pues la frontera entre aprendizaje legítimo y coordinación anticompetitiva carece de demarcación clara (Gal & Aviv, 2020).

La propuesta de Kaplow (2013) sobre un enfoque funcional centrado en efectos económicos observables ofrece una alternativa conceptual para superar estas limitaciones. Este autor sostiene que el derecho de la competencia debe evaluar las conductas por sus consecuencias en el bienestar del consumidor y la eficiencia asignativa, prescindiendo de categorías formalistas como el acuerdo o la intención. La colusión algorítmica debe ser sancionada cuando genera efectos anticompetitivos equivalentes a la coordinación tradicional, independientemente de los mecanismos técnicos mediante los cuales se produce. Este enfoque consecuencialista desplaza el análisis desde la forma jurídica hacia la función económica, permitiendo capturar conductas algorítmicas que eluden las categorías tradicionales.

Sin embargo, el enfoque funcional enfrenta críticas significativas relacionadas con la seguridad jurídica y los límites del poder sancionador del Estado. La imputación basada exclusivamente en efectos económicos genera riesgo de sobreregulación, pues cualquier resultado de mercado subóptimo podría ser interpretado como conducta anticompetitiva sin necesidad de identificar una conducta reprochable específica. La ausencia de criterios claros de imputación subjetiva vulnera principios fundamentales del derecho sancionador, particularmente en jurisdicciones que exigen culpabilidad como requisito constitucional para la imposición de sanciones administrativas (Crane, 2020).

La solución a esta tensión requiere un modelo híbrido que articule análisis de efectos con criterios de imputación subjetiva basados en previsibilidad razonable. La colusión algorítmica debe ser sancionada cuando concurren dos condiciones: primero, efectos económicos anticompetitivos equivalentes a la coordinación tradicional, demostrables mediante análisis econométrico de datos de mercado; segundo, diseño, implementación o supervisión negligente del sistema algorítmico, evaluable según estándares profesionales de diligencia técnica. Este enfoque dual preserva la seguridad jurídica mediante criterios de imputación subjetiva, mientras permite capturar conductas algorítmicas mediante análisis funcional de efectos (Hacker, 2018).

El análisis de la crisis conceptual del acuerdo y la intencionalidad revela la erosión de los fundamentos antropocéntricos del derecho de la competencia, generando la necesidad de explorar el modo en que la autonomía algorítmica produce coordinación sin voluntad humana.

Comprender los mecanismos técnicos que subyacen a esa convergencia constituye el paso siguiente, pues solo a partir del conocimiento preciso de las arquitecturas y dinámicas de aprendizaje que posibilitan la colusión será posible fundamentar una teoría jurídica de la imputación compatible con la realidad digital.

## 2 MECANISMOS TÉCNICOS DE LA COLUSIÓN ALGORÍTMICA Y SUS IMPLICACIONES PARA LA IMPUTABILIDAD JURÍDICA

La comprensión de los mecanismos técnicos mediante los cuales los algoritmos generan coordinación anticompetitiva constituye prerequisite indispensable para construir un marco regulatorio efectivo. La colusión algorítmica no es un fenómeno homogéneo, sino que adopta múltiples configuraciones técnicas con implicaciones diferenciadas para la imputabilidad jurídica. Ezrachi y Stucke (2016) proponen una tipología fundacional que distingue cuatro categorías: mensajero, *hub-and-spoke*, predictiva y autónoma. Esta clasificación organiza las conductas según el grado de intervención humana en el diseño y operación del sistema, determinando la distribución de responsabilidad entre diseñadores, operadores y beneficiarios.

La colusión por mensajero constituye la configuración más próxima a la coordinación tradicional. En este escenario, competidores utilizan algoritmos como instrumentos para implementar y monitorear acuerdos colusorios previamente negociados. El sistema automatiza la ejecución de estrategias acordadas, ajustando precios en tiempo real según parámetros programados por agentes humanos. Esta modalidad no plantea desafíos conceptuales significativos para el derecho tradicional, pues el acuerdo humano subyacente puede ser identificado y sancionado mediante categorías jurídicas establecidas. El caso *United States v. Topkins* (2015) ejemplifica esta configuración, donde el Departamento de Justicia imputó responsabilidad penal por la utilización de algoritmos para implementar acuerdos de fijación de precios en Amazon Marketplace (Mehra, 2016).

La configuración *hub-and-spoke* presenta mayor complejidad institucional. En este modelo, un proveedor centralizado de software algorítmico facilita la coordinación entre competidores que utilizan el mismo sistema de fijación de precios. El hub (eje central) diseña

algoritmos que, al ser adoptados por múltiples competidores (radios), generan coordinación indirecta sin comunicación bilateral entre usuarios finales. Esta estructura plantea interrogantes sobre la responsabilidad del proveedor de software, quien puede argumentar que ofrece herramientas técnicas neutrales cuyo uso colusorio es atribuible exclusivamente a los clientes. La imputación en este escenario requiere demostrar que el diseñador conocía o debía razonablemente prever que su sistema facilitaría coordinación anticompetitiva (Schrepel, 2019).

La colusión predictiva representa una transición hacia mayor autonomía algorítmica. En este modelo, los sistemas utilizan análisis de big data y machine learning para predecir el comportamiento futuro de competidores, ajustando estrategias en anticipación de las reacciones esperadas. La coordinación emerge de la capacidad predictiva sofisticada que permite anticipar respuestas competitivas y converger en estrategias mutuamente óptimas sin comunicación directa. Esta configuración dificulta la distinción entre inteligencia competitiva legítima y coordinación ilícita, pues la frontera entre predicción racional del comportamiento competidor y colusión tácita deviene imprecisa (Gal & Elkin-Koren, 2017).

La colusión autónoma constituye la configuración más desafiante desde la perspectiva jurídica. En este escenario, algoritmos de aprendizaje por refuerzo aprenden estrategias colusorias mediante ensayo y error, sin diseño explícito orientado a la coordinación ni intervención humana posterior al despliegue inicial. Los sistemas descubren independientemente que la cooperación genera mayores recompensas que la competencia, convergiendo hacia equilibrios colusorios como resultado emergente del proceso de aprendizaje. Esta modalidad erosiona completamente las categorías tradicionales de acuerdo e intención, pues la coordinación se produce sin voluntad humana de coludir (Calvano et al., 2020).

La arquitectura técnica del aprendizaje por refuerzo ilumina los mecanismos causales de la colusión autónoma. Estos sistemas operan mediante la interacción recursiva entre agente, entorno y función de recompensa. El agente (algoritmo) observa el estado del entorno (mercado), ejecuta acciones (decisiones de precio), recibe recompensas (beneficios) y actualiza su política de decisión para maximizar recompensas acumuladas futuras. En contextos oligopólicos, donde las recompensas de cada agente dependen de las acciones de los

competidores, los algoritmos aprenden a coordinar mediante el reconocimiento de patrones de interacción que maximizan beneficios conjuntos (Assad et al., 2021).

La convergencia hacia coordinación colusoria no requiere comunicación sino observación recursiva del comportamiento competitivo. Los algoritmos descubren mediante experiencia que las desviaciones de precios elevados generan represalias inmediatas (guerras de precios) que reducen beneficios de todos los participantes, mientras que el mantenimiento de precios supracompetitivos es recompensado con estabilidad y beneficios sostenidos. Este aprendizaje reproduce la lógica de los equilibrios de Nash repetidos donde la cooperación se sostiene mediante amenazas creíbles de castigo, pero sin que exista acuerdo previo ni intención compartida de coludir (Schwalbe, 2021).

La velocidad de convergencia y estabilidad de la coordinación algorítmica superan significativamente la colusión humana tradicional. Calvano et al. (2020) documentan que algoritmos de Q-learning convergen hacia precios colusorios en menos de 100,000 iteraciones, alcanzando sobreprecio promedio del 15% respecto al equilibrio competitivo. La estabilidad se mantiene incluso ante shocks exógenos temporales, pues los sistemas aprenden a restaurar rápidamente la coordinación después de perturbaciones. Esta capacidad de aprendizaje rápido y recuperación automática genera efectos anticompetitivos más severos y persistentes que la coordinación humana, que requiere comunicación continua y es vulnerable a incentivos individuales de desviación.

La opacidad de los sistemas de aprendizaje profundo complica sustancialmente la trazabilidad causal. Las redes neuronales artificiales operan mediante millones de parámetros cuyos valores se ajustan automáticamente durante el entrenamiento, generando representaciones internas que no admiten interpretación humana directa. La decisión de un precio específico emerge de la interacción compleja entre múltiples capas de procesamiento, imposibilitando la reconstrucción del razonamiento subyacente. Esta opacidad epistemológica impide determinar si el comportamiento colusorio fue previsto por diseñadores o constituye resultado emergente impredecible del aprendizaje (Burrell, 2016).

Selbst y Barocas (2018) identifican tres fuentes de opacidad algorítmica con implicaciones diferenciadas para la imputabilidad jurídica. La opacidad por secreto comercial

deriva de decisiones empresariales de proteger información técnica mediante derechos de propiedad intelectual, impidiendo el acceso regulatorio a códigos fuente y datos de entrenamiento. La opacidad técnica resulta de la complejidad matemática de sistemas que operan mediante millones de parámetros cuya interacción genera decisiones no interpretables. La opacidad temporal emerge cuando sistemas aprenden progresivamente mediante actualización continua de parámetros, haciendo imposible reconstruir *ex post* el estado exacto del sistema en el momento de la conducta investigada. Estas tres dimensiones convergen para generar una barrera epistémica que desafía la arquitectura probatoria del derecho de la competencia.

La distinción entre diseño explícito y aprendizaje emergente resulta crucial para la distribución de responsabilidad. Cuando un algoritmo está programado explícitamente para coordinar precios mediante instrucciones codificadas que implementan estrategias colusorias predefinidas, la responsabilidad del diseñador es clara y directa, pues existe intención verificable de generar coordinación anticompetitiva. Sin embargo, cuando la colusión emerge como resultado imprevisto del proceso de aprendizaje, la imputación se torna problemática, pues el diseñador puede argumentar legítimamente que programó el sistema para maximizar beneficios mediante competencia legal, sin anticipar que aprendería estrategias colusorias (Hacker, 2018).

La previsibilidad razonable constituye el criterio fundamental para resolver esta tensión. Los diseñadores de sistemas algorítmicos desplegados en contextos oligopólicos deben razonablemente prever que algoritmos entrenados para maximizar beneficios mediante observación del comportamiento competidor pueden converger en estrategias colusorias. La literatura técnica sobre aprendizaje por refuerzo en mercados oligopólicos, consolidada desde trabajos seminales de Waltman y Kaymak (2008) y expandida significativamente en la última década, establece que la convergencia hacia coordinación constituye resultado previsible de la arquitectura técnica de estos sistemas. La ignorancia de esta literatura no exime de responsabilidad a diseñadores profesionales que operan en mercados regulados (Gal & Aviv, 2020).

La culpa técnica *in eligendo* se materializa en la elección de arquitecturas algorítmicas inadecuadas para contextos competitivos sensibles. La utilización de algoritmos de aprendizaje

por refuerzo con funciones objetivo que privilegian exclusivamente la maximización de beneficios a corto plazo, sin incorporar restricciones que impidan convergencia hacia estrategias colusorias, constituye negligencia técnica cuando el diseñador opera en mercados oligopólicos donde la coordinación genera daños significativos al bienestar del consumidor. La diligencia debida exige incorporar salvaguardas técnicas que limiten el espacio de estrategias aprendibles, implementar mecanismos de monitoreo que detecten convergencia hacia comportamientos sospechosos, y diseñar funciones de recompensa que penalicen desviaciones excesivas respecto de *benchmarks* competitivos (Petit, 2020).

La culpa técnica *in vigilando* se refiere a la supervisión deficiente de sistemas algorítmicos desplegados en entornos productivos. Los operadores de algoritmos de fijación de precios tienen obligación de monitorear continuamente el comportamiento del sistema, detectar anomalías que sugieran coordinación anticompetitiva, e intervenir cuando sea necesario para corregir desviaciones respecto de estrategias competitivas legítimas. La ausencia de protocolos de auditoría algorítmica, la falta de capacitación de personal responsable de supervisión, y la implementación de sistemas totalmente automatizados sin revisión humana periódica constituyen manifestaciones de negligencia *in vigilando* que fundamentan la imputación de responsabilidad (Crane, 2020).

La distribución de responsabilidad entre diseñadores, operadores y beneficiarios requiere un modelo de imputación en cadena que refleje la fragmentación de la causalidad en ecosistemas algorítmicos complejos. El diseñador responde por negligencia en la arquitectura técnica del sistema y la ausencia de salvaguardas anticolusión. El operador responde por supervisión deficiente del comportamiento algorítmico y omisión de intervención correctiva ante indicios de coordinación. El beneficiario responde cuando, conociendo o debiendo conocer que el sistema genera coordinación anticompetitiva, continúa utilizándolo para obtener ventajas derivadas de precios supracompetitivos. Esta responsabilidad solidaria refleja la naturaleza distribuida de la causalidad en contextos tecnológicos complejos (Gal & Elkin-Koren, 2017).

La evidencia empírica sobre la magnitud de los efectos anticompetitivos confirma la urgencia de intervención regulatoria. Assad et al. (2021) documentan que mercados digitales de alta frecuencia donde múltiples competidores utilizan algoritmos de fijación de precios presentan sobreprecio promedio del 12-20% respecto de *benchmarks* competitivos, con

variabilidad de precios significativamente reducida que sugiere coordinación estabilizada. Harrington (2021) identifica patrones de correlación temporal entre ajustes de precios de competidores que son estadísticamente inconsistentes con decisión independiente pero coherentes con respuesta coordinada a señales de mercado. Schwalbe (2021) demuestra que la persistencia de precios supracompetitivos ante reducciones de costos constituye indicio robusto de coordinación, pues en competencia los beneficios de reducción de costos se transfieren parcialmente a consumidores mediante precios más bajos.

La arquitectura técnica de plataformas digitales facilita estructuralmente la coordinación algorítmica mediante mecanismos de transparencia forzada. Las plataformas de comercio electrónico publican precios de todos los competidores en tiempo real, proporcionando a algoritmos de aprendizaje información perfecta sobre el comportamiento competitivo. Esta transparencia artificial elimina la fricción informativa que limita la colusión en mercados tradicionales, permitiendo que algoritmos ajusten estrategias inmediatamente en respuesta a desviaciones detectadas. La velocidad de reacción algorítmica, medida en milisegundos, hace que cualquier desviación sea castigada instantáneamente mediante guerras de precios, eliminando incentivos para romper la coordinación (Ezrachi & Stucke, 2016).

La literatura experimental ha identificado factores estructurales que favorecen la convergencia algorítmica hacia colusión. La concentración de mercado constituye el factor más significativo: mercados con 2-4 competidores algorítmicos presentan convergencia sistemática hacia coordinación, mientras que mercados con más de 10 competidores mantienen mayor variabilidad de precios coherente con competencia. La homogeneidad de productos facilita la coordinación, pues simplifica la identificación de desviaciones y la implementación de castigos. La frecuencia de interacción refuerza el aprendizaje colusorio, pues permite que algoritmos experimenten rápidamente con múltiples estrategias y consoliden aquellas que maximizan recompensas (Calvano et al., 2020).

La estabilidad de demanda constituye otro factor facilitador significativo. En mercados con demanda predecible, los algoritmos aprenden rápidamente los patrones de recompensa asociados a diferentes estrategias de precio, convergiendo eficientemente hacia equilibrios colusorios. En contraste, mercados con alta volatilidad de demanda dificultan el aprendizaje, pues la variabilidad de recompensas impide que algoritmos discriminen entre efectos de sus



propias acciones y shocks exógenos. Esta observación tiene implicaciones regulatorias, pues sugiere que la introducción artificial de volatilidad mediante subastas periódicas o ajustes regulatorios estocásticos puede dificultar la coordinación algorítmica sin impedir la competencia legítima (Assad et al., 2021).

La arquitectura de funciones de recompensa determina críticamente la probabilidad de convergencia colusoria. Algoritmos entrenados con funciones que privilegian exclusivamente beneficios a corto plazo convergen más rápidamente hacia coordinación que sistemas con funciones que incorporan objetivos adicionales como cuota de mercado, satisfacción del cliente o reputación de marca. La ausencia de restricciones normativas en el diseño de funciones de recompensa genera un problema de incentivos perversos: diseñadores que operan bajo presión de maximización de beneficios para accionistas tienen incentivos para programar sistemas que aprenden estrategias colusorias, internalizando beneficios privados mientras externalizan costos sociales de la coordinación anticompetitiva (Schrepel, 2019).

La interacción entre múltiples algoritmos heterogéneos agrega complejidad adicional. Cuando competidores utilizan arquitecturas algorítmicas diversas con diferentes velocidades de aprendizaje y horizontes temporales, la convergencia hacia coordinación se vuelve menos predecible pero no imposible. Klein (2021) demuestra que incluso en mercados donde competidores utilizan algoritmos fundamentalmente diferentes, puede emerger coordinación parcial mediante aprendizaje adaptativo que identifica patrones de comportamiento estables. Esta heterogeneidad algorítmica dificulta tanto la coordinación como su detección, pues los patrones de precios reflejan la interacción compleja entre múltiples lógicas de optimización.

La dimensión temporal de la imputación presenta desafíos específicos vinculados a la evolución progresiva del aprendizaje. Los algoritmos no transitan abruptamente desde competencia hacia coordinación, sino que exploran gradualmente el espacio de estrategias posibles, convergiendo progresivamente hacia equilibrios colusorios. Esta transición gradual dificulta la determinación del momento en que el comportamiento deviene ilícito, pues carece de un punto de inflexión claramente identificable. La solución regulatoria debe incorporar umbrales cuantitativos que definan cuándo el sobreprecio y la estabilidad de coordinación alcanzan niveles que justifican intervención, independientemente de la velocidad de convergencia (Harrington, 2021).

La exposición de los mecanismos técnicos de coordinación algorítmica y de sus implicaciones para la imputabilidad jurídica evidencia la urgencia de respuestas institucionales coherentes y la insuficiencia de marcos normativos convencionales. Ante este panorama, resulta imprescindible examinar cómo distintas jurisdicciones han intentado enfrentar el fenómeno mediante estrategias regulatorias divergentes, comparando los modelos europeo y estadounidense para identificar lecciones, tensiones y posibles vías de convergencia que orienten la construcción de un paradigma global de gobernanza.

### 3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS REGULATORIAS: MODELOS EUROPEO Y ESTADOUNIDENSE

La divergencia entre los enfoques regulatorios europeo y estadounidense refleja tradiciones jurídicas diferenciadas en la conceptualización del derecho de la competencia y el equilibrio entre intervención estatal y autonomía del mercado. La Unión Europea ha adoptado una aproximación preventiva fundamentada en la gobernanza *ex ante* de mercados digitales, mientras que Estados Unidos mantiene una tradición centrada en el *enforcement ex post* de conductas anticompetitivas mediante procedimientos administrativos y judiciales. Esta divergencia tiene implicaciones significativas para la efectividad regulatoria frente a la colusión algorítmica, determinando tanto la capacidad de detección como la distribución de responsabilidad entre actores económicos y agencias gubernamentales (OECD, 2021).

El marco europeo se ha transformado sustancialmente mediante la adopción del Digital Markets Act (DMA) y el Artificial Intelligence Act (AI Act), instrumentos que introducen obligaciones *ex ante* para plataformas designadas como gatekeepers y sistemas de inteligencia artificial clasificados como de alto riesgo. El DMA establece prohibiciones específicas de conductas que facilitan coordinación anticompetitiva, incluyendo restricciones sobre el intercambio de datos sensibles entre competidores y obligaciones de interoperabilidad que reducen barreras de entrada. El AI Act impone requisitos de transparencia, explicabilidad y auditoría para sistemas algorítmicos desplegados en contextos de alto riesgo, categoría que podría incluir algoritmos de fijación de precios en mercados oligopólicos (European Commission, 2021).

La Directiva ECN+ (2019/1/EU) fortalece las capacidades de *enforcement* de las autoridades nacionales de competencia mediante la armonización de procedimientos, el establecimiento de estándares mínimos de independencia institucional, y la ampliación de poderes de investigación. Esta directiva incorpora explícitamente la capacidad de requerir acceso a algoritmos y datos utilizados por empresas investigadas, superando obstáculos tradicionales vinculados al secreto comercial. Sin embargo, la efectividad de estos poderes depende críticamente de la capacidad técnica de las agencias para analizar sistemas algorítmicos complejos, requisito que no todas las autoridades nacionales satisfacen (Gal, 2019).

La jurisprudencia del Tribunal de Justicia de la Unión Europea ha desarrollado progresivamente una concepción estructural del acuerdo que facilita la imputación en contextos de coordinación mediada tecnológicamente. En *Eturas v. Lithuania* (C-74/14), el tribunal sostuvo que la aceptación pasiva de restricciones implementadas mediante sistemas técnicos puede constituir concertación cuando los participantes conocían o debían conocer la existencia de tales restricciones. Este precedente introduce un estándar de diligencia que obliga a empresas a auditar activamente los sistemas técnicos que utilizan para asegurar que no facilitan coordinación anticompetitiva. La extensión de este principio a la colusión algorítmica autónoma permanece incierta, pues *Eturas* presupone conocimiento de restricciones implementadas externamente, mientras que la colusión autónoma emerge del aprendizaje interno del sistema (Schrepel, 2019).

La Comisión Europea ha emitido orientaciones sobre la aplicación del artículo 101 TFUE a la economía digital, reconociendo explícitamente que la coordinación puede producirse mediante sistemas algorítmicos sin acuerdo tradicional. Las directrices establecen que la utilización de algoritmos comunes o el intercambio de información mediante plataformas puede constituir concertación cuando facilita la convergencia hacia estrategias anticompetitivas. Sin embargo, estas orientaciones no resuelven completamente el problema de la colusión autónoma, pues mantienen el requisito de identificar un vínculo causal entre conducta humana y resultado anticompetitivo (European Commission, 2021).

El enfoque estadounidense permanece fundamentalmente centrado en el paradigma del acuerdo como requisito constitutivo de la violación del artículo 1 de la Sherman Act. La jurisprudencia establece que la prueba de coordinación requiere demostrar comunicación o

contacto entre competidores, distinguiendo claramente entre paralelismo consciente permitido y concertación prohibida. Esta distinción, consolidada en casos como *Theatre Enterprises v. Paramount Film* (1954) y *Matsushita Electric v. Zenith Radio* (1986), genera obstáculos significativos para la imputación de colusión algorítmica, pues los algoritmos convergen en estrategias coordinadas sin comunicación verificable (Mehra, 2016).

*United States v. Topkins* (2015) representa el primer caso estadounidense de imputación penal por utilización de algoritmos en coordinación anticompetitiva. El Departamento de Justicia acusó a David Topkins de conspiración para fijar precios mediante algoritmos programados explícitamente para coordinar precios de pósters en Amazon Marketplace. El caso terminó con un acuerdo de culpabilidad sin juicio, estableciendo el precedente de que la utilización de algoritmos para implementar acuerdos colusorios no exime de responsabilidad penal. Sin embargo, Topkins involucraba diseño explícito orientado a coordinación, sin abordar el problema de la colusión autónoma emergente del aprendizaje algorítmico (Crane, 2020).

La Federal Trade Commission ha expresado preocupación sobre los riesgos anticompetitivos de algoritmos de fijación de precios, emitiendo advertencias sobre la necesidad de que empresas auditen sistemas algorítmicos para asegurar el cumplimiento de normas antimonopolio. Sin embargo, la FTC no ha desarrollado guías específicas sobre los estándares de diligencia aplicables al diseño y supervisión de algoritmos, generando incertidumbre sobre las obligaciones concretas de las empresas. Esta ausencia de orientación regulatoria contrasta con el enfoque europeo de gobernanza ex ante, donde regulaciones como el AI Act establecen requisitos específicos de transparencia y auditoría (Sokol, 2021).

La doctrina del *hub-and-spoke* ha sido utilizada por autoridades estadounidenses para abordar casos donde un facilitador central coordina indirectamente a múltiples competidores. En *United States v. Apple* (2013), el Segundo Circuito confirmó la responsabilidad de Apple por orquestar un esquema de fijación de precios de libros electrónicos mediante contratos con cláusulas de nación más favorecida. Aunque este caso no involucró algoritmos, la doctrina *hub-and-spoke* podría aplicarse a proveedores de software algorítmico que facilitan coordinación entre múltiples clientes. Sin embargo, la aplicación de esta doctrina requiere probar que el hub

tenía intención de facilitar coordinación, requisito difícil de satisfacer cuando proveedores de software argumentan que ofrecen herramientas técnicas neutrales (Schrepel, 2019).

La literatura académica estadounidense debate intensamente sobre la necesidad de reforma legislativa. Crane (2020) propone una modificación del artículo 1 de la Sherman Act que elimine el requisito de acuerdo, permitiendo sancionar conductas coordinadas cuando produzcan efectos anticompetitivos equivalentes a la colusión tradicional. Esta propuesta enfrenta resistencia basada en preocupaciones sobre seguridad jurídica y riesgo de sobreregulación. Kaplow (2013) defiende un enfoque funcional centrado en efectos económicos observables, argumentando que el requisito de acuerdo carece de justificación económica y genera vacíos de *enforcement* arbitrarios. Sin embargo, el enfoque funcional es criticado por comprometer principios fundamentales del debido proceso y los límites del poder sancionador estatal.

La experiencia comparada revela que ningún sistema ha desarrollado una solución plenamente satisfactoria para la colusión algorítmica autónoma. El enfoque europeo de gobernanza preventiva ofrece ventajas en términos de capacidad de intervención temprana y establecimiento de estándares de diligencia ex ante, pero enfrenta desafíos de implementación vinculados a la complejidad técnica de auditorías algorítmicas y el riesgo de sofocar innovación mediante regulación excesiva. El enfoque estadounidense preserva flexibilidad y minimiza intervención estatal, pero genera vacíos de *enforcement* donde conductas algorítmicas anticompetitivas permanecen impunes por la imposibilidad de satisfacer estándares probatorios obsoletos (OECD, 2021).

La convergencia regulatoria parcial se manifiesta en el reconocimiento compartido de que la transparencia algorítmica constituye prerequisite para el *enforcement* efectivo. Tanto autoridades europeas como estadounidenses han enfatizado la necesidad de acceso regulatorio a códigos fuente, datos de entrenamiento y documentación técnica de sistemas algorítmicos desplegados en mercados sensibles. Sin embargo, esta convergencia principista no se ha traducido en armonización de procedimientos concretos, persistiendo divergencias significativas sobre el alcance de poderes de investigación, protección de secretos comerciales, y estándares de revisión judicial de decisiones regulatorias (Gal, 2019).

La dimensión procedimental presenta desafíos específicos vinculados a la carga de la prueba y los derechos de defensa. El derecho europeo permite invertir la carga probatoria en casos donde la autoridad presenta indicios suficientes de coordinación, obligando a empresas investigadas a demostrar que su comportamiento resulta de decisión independiente. Este estándar facilitaría la imputación de colusión algorítmica mediante prueba indiciaria basada en análisis económico de datos de mercado. En contraste, el derecho estadounidense mantiene la carga probatoria en la autoridad durante todo el procedimiento, exigiendo prueba directa de acuerdo o comunicación. Esta divergencia procesal genera asimetrías significativas en la efectividad del *enforcement* entre jurisdicciones (Crane, 2020).

La cooperación internacional en materia de regulación algorítmica permanece incipiente. Aunque organismos como la OCDE y la International Competition Network han promovido diálogos sobre coordinación de políticas, la ausencia de mecanismos vinculantes de cooperación transfronteriza limita la efectividad de intervenciones nacionales frente a plataformas globales. La fragmentación regulatoria genera incentivos para que empresas localicen operaciones algorítmicas en jurisdicciones con menor *enforcement*, explotando arbitraje regulatorio. La construcción de un régimen global coherente requiere armonización de estándares sustantivos y procedimentales, actualmente ausente del panorama regulatorio internacional (UNCTAD, 2020).

El contraste entre los enfoques europeo y estadounidense permite reconocer la ausencia de una solución integral frente a la colusión algorítmica y la necesidad de un marco que combine prevención, imputación efectiva y proporcionalidad institucional. A partir de las limitaciones observadas en ambos sistemas, la investigación avanza hacia la formulación de un modelo regulatorio adaptativo que integre imputación tecnológica, trazabilidad algorítmica y proporcionalidad institucional como ejes estructurales de una gobernanza dinámica y contextualizada de los mercados digitales.

#### **4. PROPUESTA DE MODELO REGULATORIO ADAPTATIVO: IMPUTACIÓN TECNOLÓGICA, TRAZABILIDAD Y PROPORCIONALIDADE INSTITUCIONAL**

La construcción de un marco regulatorio efectivo para la colusión algorítmica requiere superar tres limitaciones estructurales del paradigma tradicional: la inadecuación conceptual de categorías antropocéntricas, la insuficiencia de capacidades institucionales en jurisdicciones emergentes, y la fragmentación normativa global. La propuesta de modelo adaptativo articula tres pilares interdependientes que, operando coordinadamente, permiten preservar la efectividad del derecho de la competencia sin sofocar la innovación tecnológica ni imponer cargas desproporcionadas a agencias con recursos limitados.

El primer pilar, imputación tecnológica, fundamenta la responsabilidad en la previsibilidad razonable del daño y en la culpa técnica *in eligendo* e *in vigilando*, desplazando el eje de análisis desde la intencionalidad hacia el control efectivo sobre sistemas que generan riesgos previsibles. La imputación tecnológica presupone que los actores económicos que diseñan, implementan o se benefician de sistemas algorítmicos en mercados oligopólicos tienen obligación de diligencia técnica, consistente en incorporar salvaguardas anticolusión, monitorear continuamente el comportamiento del sistema, e intervenir cuando emerjan indicios de coordinación anticompetitiva. Esta obligación se fundamenta en el principio de que quien introduce riesgos sistémicos en el mercado debe internalizar los costos de su gestión responsable (Hacker, 2018).

La culpa técnica *in eligendo* se materializa en la elección de arquitecturas algorítmicas, funciones objetivo y datos de entrenamiento. Los diseñadores tienen obligación de evaluar ex ante si la arquitectura técnica seleccionada presenta riesgo previsible de convergencia hacia coordinación anticompetitiva en el contexto específico de despliegue. Esta evaluación debe considerar factores como la concentración del mercado objetivo, la homogeneidad de productos, la frecuencia de interacción competitiva, y la transparencia de información de precios. La ausencia de evaluación de riesgo previa al despliegue constituye negligencia técnica que fundamenta imputación de responsabilidad cuando el sistema genera efectivamente coordinación (Gal & Aviv, 2020).

La culpa técnica *in vigilando* se refiere a la supervisión continua del comportamiento algorítmico post-despliegue. Los operadores tienen obligación de implementar sistemas de monitoreo que detecten desviaciones respecto de *benchmarks* competitivos, establecer protocolos de intervención cuando se identifiquen patrones sospechosos, y documentar las

decisiones adoptadas para corregir comportamientos anticompetitivos. La operación totalmente automatizada sin revisión humana periódica constituye negligencia *in vigilando*, particularmente en mercados sensibles donde la coordinación genera daños significativos al bienestar del consumidor. Esta obligación no exige supervisión manual de cada decisión algorítmica, sino implementación de mecanismos de auditoría continua que permitan detectar anomalías y faciliten trazabilidad ex post (Petit, 2020).

La distribución de responsabilidad entre diseñadores, operadores y beneficiarios debe reflejar la fragmentación de la causalidad en ecosistemas algorítmicos complejos. El modelo propone responsabilidad solidaria cuando múltiples actores contribuyen mediante actos u omisiones negligentes a la generación de coordinación anticompetitiva. El diseñador responde por deficiencias en la arquitectura técnica que incrementan previsiblemente el riesgo de coordinación. El operador responde por supervisión deficiente del comportamiento algorítmico. El beneficiario responde cuando, conociendo o debiendo conocer que el sistema genera coordinación, continúa utilizándolo para obtener ventajas derivadas de precios supracompetitivos. Esta responsabilidad compartida incentiva la adopción de prácticas de diligencia técnica en todos los niveles de la cadena de valor algorítmica (Gal & Elkin-Koren, 2017).

El segundo pilar, trazabilidad algorítmica, establece obligaciones de documentación, transparencia y auditoría que permiten reconstruir ex post el comportamiento de sistemas algorítmicos y evaluar su conformidad con normas antimonopolio. La trazabilidad constituye prerequisite para el *enforcement* efectivo, pues sin capacidad de acceder a información técnica relevante, las agencias carecen de base probatoria suficiente para imputar responsabilidad. El modelo propone obligaciones escalables de trazabilidad ajustadas a la sensibilidad competitiva del mercado y la capacidad institucional de cada jurisdicción (Selbst & Barocas, 2018).

La obligación de documentación técnica exige que diseñadores y operadores mantengan registros completos sobre la arquitectura del algoritmo, las funciones objetivo programadas, los datos utilizados para entrenamiento, y los procedimientos de validación implementados. Esta documentación debe permitir que auditores externos reconstruyan el proceso de desarrollo y despliegue del sistema, evaluando si se adoptaron medidas razonables de diligencia técnica. La ausencia de documentación adecuada genera presunción de



negligencia que invierte la carga probatoria, obligando a la empresa investigada a demostrar que su comportamiento resulta de decisión independiente (SchrepeI, 2019).

La transparencia algorítmica no exige divulgación pública de códigos fuente ni secretos comerciales, sino acceso regulatorio controlado mediante procedimientos que protegen información sensible. Las agencias de competencia deben tener poder legal para requerir acceso a algoritmos, datos y documentación técnica en el contexto de investigaciones formales, sujeto a salvaguardas que impidan uso indebido o filtración de información comercial confidencial. Este equilibrio entre transparencia regulatoria y protección de innovación se implementa mediante protocolos de confidencialidad, utilización de peritos independientes, y revisión limitada a aspectos específicamente relevantes para la investigación (Gal, 2019).

La auditoría algorítmica constituye el mecanismo operativo de verificación de cumplimiento. El modelo propone tres niveles de auditoría escalables según sensibilidad del mercado y capacidad institucional. La auditoría básica consiste en verificación documental de que la empresa ha implementado procedimientos de evaluación de riesgo y monitoreo continuo, sin análisis técnico detallado del algoritmo. La auditoría intermedia incluye revisión técnica de la arquitectura algorítmica y funciones objetivo mediante peritos especializados, evaluando conformidad con estándares de diligencia técnica. La auditoría avanzada implica análisis forense completo del comportamiento algorítmico mediante técnicas de ingeniería inversa y simulación, reconstruyendo el proceso de aprendizaje para determinar si la coordinación fue resultado de diseño, aprendizaje emergente o convergencia fortuita (Schwalbe, 2021).

El tercer pilar, proporcionalidad institucional, ajusta las exigencias regulatorias a la capacidad técnica y financiera de cada jurisdicción, evitando la imposición de obligaciones que no pueden ser efectivamente implementadas ni supervisadas. La proporcionalidad reconoce que las agencias de competencia enfrentan restricciones heterogéneas de recursos humanos, infraestructura técnica y presupuesto, requiriendo adaptación contextual de instrumentos regulatorios. Este principio previene la adopción acrítica de modelos regulatorios diseñados para economías avanzadas que resultan inviables en jurisdicciones emergentes, generando brecha entre ambición normativa y capacidad de *enforcement* (UNCTAD, 2020).

La modularidad regulatoria permite que jurisdicciones adopten progresivamente instrumentos de gobernanza algorítmica según su capacidad institucional. El modelo propone tres niveles de sofisticación creciente. El nivel básico se centra en obligaciones de transparencia y documentación verificables mediante revisión documental, sin requerir capacidad técnica avanzada de análisis algorítmico. El nivel intermedio incorpora mecanismos de auditoría técnica mediante cooperación con universidades, centros de investigación o consultores especializados, aprovechando capacidades externas cuando las agencias carecen de personal propio. El nivel avanzado implementa análisis forense completo de algoritmos mediante equipos internos de data scientists y economistas computacionales, requiriendo inversión significativa en capital humano e infraestructura (OECD, 2021).

La cooperación internacional constituye componente esencial de la proporcionalidad institucional, permitiendo que jurisdicciones con recursos limitados se beneficien de investigaciones conducidas por autoridades con mayor capacidad técnica. El modelo propone mecanismos de intercambio de información sobre mejores prácticas, capacitación de funcionarios, y asistencia técnica para el análisis de casos complejos. La construcción de una red regional de agencias de competencia que compartan recursos técnicos y experiencia investigativa puede amplificar significativamente la capacidad de *enforcement* en jurisdicciones emergentes sin requerir que cada agencia desarrolle independientemente todas las capacidades necesarias (Gal, 2019).

La gradualidad temporal permite que agencias construyan progresivamente capacidades institucionales sin paralizar la innovación mediante *enforcement* prematuro basado en instrumentos inadecuados. El modelo propone implementación en tres fases. La fase preliminar se centra en desarrollar conciencia sobre riesgos de coordinación algorítmica mediante guías técnicas, advertencias preventivas y diálogos con la industria, sin imposición de sanciones. La fase intermedia incorpora *enforcement* selectivo centrado en casos emblemáticos donde la evidencia de coordinación es robusta, construyendo jurisprudencia y señales claras sobre prácticas prohibidas. La fase madura implementa supervisión sistemática de mercados sensibles mediante auditorías periódicas y análisis continuo de datos, estableciendo régimen de cumplimiento obligatorio con sanciones disuasorias (Sokol, 2021).

El diseño de indicios algorítmicos reforzados constituye herramienta crítica para superar obstáculos probatorios sin comprometer seguridad jurídica. El modelo propone que la convergencia de múltiples indicios económicos y técnicos puede constituir prueba suficiente de coordinación anticompetitiva, invirtiendo la carga probatoria y obligando a empresas investigadas a demostrar que su comportamiento resulta de decisión independiente. Los indicios económicos incluyen sobreprecio sostenido respecto de benchmarks competitivos, estabilidad excesiva de precios que no responde a variaciones de costos, simetría de ajustes de precios entre competidores, y ausencia de guerras de precios en mercados donde serían económicamente racionales (Harrington, 2021).

Los indicios técnicos complementan el análisis económico mediante evaluación de la arquitectura algorítmica y el proceso de aprendizaje. La utilización de algoritmos de aprendizaje por refuerzo en mercados oligopólicos constituye factor de riesgo que, combinado con evidencia de coordinación económica, refuerza la presunción de conducta anticompetitiva. La ausencia de salvaguardas técnicas que limiten convergencia hacia coordinación, la falta de monitoreo del comportamiento algorítmico, y la inexistencia de documentación sobre evaluación de riesgos constituyen indicios de negligencia técnica. La convergencia de indicios económicos y técnicos genera presunción de coordinación que solo puede ser refutada mediante demostración de que el diseño, implementación y supervisión del sistema satisficieran estándares de diligencia razonable (Schwalbe, 2021).

La articulación entre reforma sustantiva, procesal y organizativa constituye requisito para la efectividad del modelo. La reforma sustantiva consiste en modificación legislativa que incorpore explícitamente la responsabilidad por coordinación algorítmica sin exigir acuerdo tradicional, estableciendo criterios de culpa técnica y previsibilidad razonable como fundamentos de imputación. La reforma procesal legitima el uso de indicios algorítmicos reforzados como prueba suficiente, incorpora peritajes interdisciplinarios que integren economía, derecho y ciencia de datos, e invierte la carga probatoria cuando concurren múltiples indicios convergentes. La reforma organizativa fortalece capacidades institucionales mediante formación especializada de funcionarios, incorporación de perfiles técnicos, desarrollo de infraestructura computacional, e implementación de protocolos de auditoría algorítmica (UNCTAD, 2020).

La gobernanza blanda complementa la regulación vinculante mediante instrumentos de orientación preventiva que reducen incertidumbre y facilitan cumplimiento voluntario. El modelo propone desarrollo de guías técnicas que especifiquen estándares de diligencia aplicables al diseño y supervisión de algoritmos en contextos competitivos sensibles. Estas guías deben identificar arquitecturas algorítmicas de alto riesgo, especificar salvaguardas técnicas recomendadas, establecer protocolos de monitoreo y documentación, e ilustrar mediante casos concretos la aplicación de criterios de culpa técnica. La claridad ex ante sobre obligaciones de cumplimiento reduce riesgos de sobrerregulación y facilita adopción de prácticas responsables por parte de empresas que operan legítimamente (Petit, 2020).

Los *regulatory sandboxes* constituyen mecanismo de experimentación controlada que permite evaluar instrumentos regulatorios novedosos sin imponer costos irreversibles. El modelo propone implementación de espacios regulatorios experimentales donde empresas pueden desplegar algoritmos de fijación de precios bajo supervisión intensiva de la agencia, compartiendo datos y documentación técnica en tiempo real. Esta cooperación permite a reguladores comprender mejor los mecanismos técnicos de coordinación algorítmica, evaluar la efectividad de diferentes salvaguardas, y construir progresivamente estándares de cumplimiento fundamentados en evidencia empírica. Los *sandboxes* reducen asimetrías informativas entre empresas y reguladores, facilitando diálogo constructivo sobre el equilibrio entre innovación y protección de la competencia (OECD, 2021).

La co-regulación mediante estándares técnicos desarrollados por la industria bajo supervisión regulatoria constituye alternativa pragmática que aprovecha conocimiento especializado de actores privados. El modelo propone que asociaciones industriales desarrollen códigos de conducta que especifiquen mejores prácticas para el diseño y supervisión de algoritmos, sujetos a validación y monitoreo por parte de agencias de competencia. Esta aproximación permite actualización ágil de estándares técnicos en respuesta a evolución tecnológica, superando la rigidez de regulaciones legislativas que requieren procedimientos prolongados de reforma. Sin embargo, la co-regulación debe acompañarse de mecanismos de verificación independiente que aseguren que los estándares industria realmente protegen la competencia y no constituyen instrumentos de autorregulación complaciente (Gal, 2019).

La dimensión sancionatoria requiere proporcionalidad entre gravedad de conducta y penalidad impuesta, distinguiendo entre colusión algorítmica resultante de negligencia técnica y diseño deliberadamente orientado a coordinación anticompetitiva. El modelo propone régimen de sanciones graduadas que refleje esta distinción. Las conductas negligentes donde el diseñador omitió razonablemente prever el riesgo de coordinación deben sancionarse mediante multas moderadas acompañadas de órdenes de corrección técnica y supervisión intensificada. Las conductas dolosas donde existe evidencia de diseño deliberado orientado a generar coordinación deben sancionarse mediante multas disuasorias calculadas sobre volumen de negocios afectado, prohibiciones de operar en mercados sensibles, e incluso responsabilidad penal en casos graves que involucren engaño a autoridades o destrucción de evidencia (Crane, 2020).

La efectividad de las sanciones depende críticamente de su previsibilidad y celeridad. El modelo propone procedimientos de investigación acelerados para casos de coordinación algorítmica, reconociendo que la velocidad de los mercados digitales hace que procedimientos tradicionales que duran años resulten inefectivos. La utilización de análisis automatizado de datos de mercado permite detectar patrones sospechosos en tiempo casi real, facilitando intervención temprana antes de que daños al mercado se consoliden. La imposición de medidas cautelares que suspendan temporalmente el uso de algoritmos sospechosos mientras se completa la investigación constituye herramienta preventiva que protege la competencia sin esperar resolución definitiva del caso (Harrington, 2021).

La dimensión compensatoria complementa el enfoque sancionatorio mediante mecanismos que permitan a consumidores afectados obtener reparación por daños derivados de coordinación algorítmica. El modelo propone facilitar acciones colectivas mediante reducción de cargas probatorias cuando exista decisión administrativa previa que establezca la existencia de coordinación. La cuantificación de daños en casos de colusión algorítmica puede utilizar métodos econométricos estándar que comparan precios observados con precios contrafactuales estimados bajo escenario de competencia, calculando sobreprecio multiplicado por volumen de transacciones durante el período de coordinación. La compensación efectiva a consumidores refuerza el efecto disuasorio de las sanciones administrativas y garantiza justicia correctiva (Schwalbe, 2021).

La arquitectura institucional debe incorporar perfiles profesionales interdisciplinarios que integren competencias jurídicas, económicas y técnicas. El modelo propone que agencias de competencia incorporen equipos de *data scientists*, economistas computacionales y expertos en aprendizaje automático, capaces de analizar algoritmos complejos y evaluar evidencia técnica. Esta diversificación profesional no requiere que todas las jurisdicciones desarrollen capacidades internas completas, pues la cooperación regional y la contratación de peritos externos pueden complementar recursos limitados. Sin embargo, las agencias deben desarrollar capacidad mínima de supervisión técnica que les permita evaluar críticamente informes periciales y formular preguntas relevantes durante investigaciones (Sokol, 2021).

La formación continua constituye inversión esencial para preservar la relevancia institucional frente a evolución tecnológica acelerada. El modelo propone programas de capacitación sistemática de funcionarios en aspectos técnicos de inteligencia artificial, análisis de datos y economía digital. Esta formación no debe limitarse a personal técnico sino extenderse a abogados y economistas responsables de diseñar estrategias de *enforcement*, asegurando comprensión integral de los desafíos regulatorios. La colaboración con universidades, centros de investigación y organismos internacionales facilita acceso a conocimiento actualizado y mejores prácticas globales (UNCTAD, 2020).

La infraestructura computacional constituye prerequisite para el análisis efectivo de datos de mercado y algoritmos. El modelo propone que agencias inviertan en sistemas de almacenamiento y procesamiento de *big data* que permitan analizar millones de transacciones, identificar patrones sospechosos mediante técnicas de *machine learning*, y simular comportamientos algorítmicos para evaluar escenarios contrafactuales. Esta infraestructura no requiere inversiones comparables a las de grandes plataformas tecnológicas, pues el análisis regulatorio puede realizarse mediante herramientas de código abierto y servicios de computación en nube que democratizan el acceso a capacidad computacional avanzada (OECD, 2021).

La cooperación público-privada mediante acceso a datos de plataformas constituye mecanismo crítico para superar asimetrías informativas. El modelo propone obligaciones de reporte periódico para plataformas que operan mercados donde múltiples vendedores utilizan algoritmos de fijación de precios. Estos reportes deben incluir datos agregados sobre

distribución de precios, frecuencia de ajustes, correlación temporal entre competidores, y características técnicas de algoritmos utilizados. El acceso regulatorio a datos no implica divulgación pública sino utilización confidencial para fines de supervisión, protegiendo información comercial sensible mientras permite detección de patrones anticompetitivos (Gal, 2019).

La evaluación continua de efectividad regulatoria mediante indicadores cuantitativos y cualitativos permite ajustar instrumentos en respuesta a evidencia empírica sobre su impacto. El modelo propone monitoreo sistemático de métricas como número de investigaciones iniciadas, porcentaje de casos con evidencia algorítmica, tiempo promedio de resolución, magnitud de sanciones impuestas, y evolución de indicadores de competitividad en mercados supervisados. Esta evaluación debe complementarse con estudios de impacto que analicen efectos sobre innovación, inversión en desarrollo algorítmico, y adopción de salvaguardas técnicas. La regulación basada en evidencia permite corregir sobrerregulación cuando genera costos desproporcionados, o intensificar *enforcement* cuando persisten conductas anticompetitivas (Petit, 2020).

La dimensión ética de la gobernanza algorítmica trasciende la protección de la competencia para incorporar valores como transparencia, *accountability* y respeto por derechos fundamentales. El modelo propone que regulaciones de competencia se articulen con marcos más amplios de gobernanza de inteligencia artificial que aborden discriminación algorítmica, protección de datos personales, y preservación de autonomía individual. Esta integración reconoce que los algoritmos generan múltiples externalidades sociales que requieren abordaje coordinado desde diferentes ámbitos regulatorios, evitando fragmentación que permita a empresas explotar inconsistencias entre regímenes normativos sectoriales (Hacker, 2018).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

La comprensión de la colusión algorítmica requiere una relectura profunda de las categorías fundantes del derecho de la competencia, ya que la automatización de la coordinación económica redefine la noción misma de conducta anticompetitiva. La investigación reafirma que la crisis de imputación generada por los sistemas de inteligencia

artificial no implica la disolución del orden jurídico, sino su reconstrucción a partir de nuevos fundamentos epistémicos. La centralidad de la agencia humana cede paso a una lógica de responsabilidad tecnológica, donde el control, la previsibilidad y la supervisión sustituyen a la intención como criterios de imputación racionalmente justificables.

El desarrollo conceptual integra tres nociones que, en conjunto, configuran un paradigma alternativo de gobernanza digital: imputación tecnológica, trazabilidad algorítmica y proporcionalidad institucional. La primera redefine la culpa desde la perspectiva del control técnico; la segunda introduce mecanismos de verificación que transforman la opacidad algorítmica en evidencia jurídicamente utilizable; la tercera vincula la capacidad regulatoria con la realidad institucional, evitando el trasplante normativo que erosiona la eficacia. Las tres nociones planteadas se proyectan como marco teórico para repensar la legitimidad del *enforcement* en contextos donde la inteligencia artificial opera como agente estructurante del mercado.

La traducción de estas innovaciones conceptuales en instrumentos regulatorios implica un rediseño integral de la arquitectura institucional del derecho de la competencia. La adopción de auditorías escalables, protocolos de supervisión técnica y estándares de diligencia profesional genera condiciones de aplicabilidad que trascienden la mera sanción *ex post*. La política pública se redefine como un proceso dinámico de aprendizaje institucional, orientado a equilibrar protección competitiva e innovación tecnológica mediante mecanismos de adaptación continua. La cooperación internacional emerge como condición necesaria para evitar el arbitraje regulatorio y construir coherencia global en la gobernanza de mercados digitales.

La agenda futura debe explorar tres direcciones prioritarias. En primer lugar, la modelización de criterios cuantitativos para evaluar culpa técnica y previsibilidad del daño. En segundo lugar, la creación de metodologías interdisciplinarias que integren análisis jurídico, económico y computacional en la detección de colusión algorítmica. En tercer lugar, la investigación comparada sobre asimetrías regulatorias entre jurisdicciones y su impacto en la efectividad global del *enforcement*. El avance de la inteligencia artificial plantea la necesidad de marcos de actualización normativa continua que acompañen el ritmo de innovación sin sacrificar garantías procesales.



La transformación del derecho de la competencia en la era algorítmica simboliza el tránsito desde un modelo antropocéntrico hacia una racionalidad jurídico-tecnológica que redefine la relación entre autonomía, control y responsabilidad. La evolución del sistema normativo dependerá de su capacidad para mantener coherencia axiológica mientras incorpora nuevas formas de agencia no humana en su estructura de imputación. Más que una amenaza, la colusión algorítmica se convierte en oportunidad histórica para renovar los fundamentos del derecho y reafirmar su función de ordenación ética y racional de los mercados digitales.

### Declaración de uso de IA

Se uso el modelo de lenguaje GPT-5 de OpenAI con el propósito de identificar y corregir errores de redacción y ortografía en todo el documento mediante el comando "detecta y corrige todos los errores de redacción y ortografía". Posteriormente, se realizó una revisión exhaustiva del texto resultante para asegurar la preservación del estilo, la coherencia y la intención del borrador original.

### REFERÊNCIAS

- ASSAD, S., CLARK, R., ERSHOV, D., XU, L. (2021). Algorithmic pricing and competition: Empirical evidence from the German retail gasoline market. **CESifo Working Paper Series**, No. 8521. <https://www.cesifo.org/en/publikationen/2021/working-paper/algorithmic-pricing-and-competition-empirical-evidence-german>
- BURRELL, J. (2016). How the machine 'thinks': Understanding opacity in machine learning algorithms. **Big Data & Society**, 3(1), 1-12. <https://doi.org/10.1177/2053951715622512>
- CALVANO, E., CALZOLARI, G., DENICOLÒ, V., PASTORELLO, S. (2020). Artificial intelligence, algorithmic pricing, and collusion. **American Economic Review**, 110(10), 3267-3297. <https://doi.org/10.1257/aer.20190623>
- CRANE, D. A. (2020). Antitrust's unconventional politics. **Virginia Law Review**, 106(7), 1529-1588. <https://www.virginialawreview.org/articles/antitruss-unconventional-politics/>
- European Commission. (2021). **Proposal for a Regulation on Artificial Intelligence (Artificial Intelligence Act)**. COM(2021) 206, final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021PC0206>
- EZRACHI, A., STUCKE, M. E. (2016). **Virtual competition: The promise and perils of the algorithm-driven economy**. Harvard University Press. <https://doi.org/10.4159/9780674545472>

- GAL, M. S. (2019). Algorithms as illegal agreements. **Berkeley Technology Law Journal**, 34(1), 67-118. <https://doi.org/10.15779/Z38TD9N83J>
- GAL, M. S., AVIV, O. (2020). The competitive effects of the GDPR. **Journal of Competition Law & Economics**, 16(3), 349-391. <https://doi.org/10.1093/joclec/nhaa017>
- GAL, M. S.; ELKIN-KOREN, N. (2017). Algorithmic consumers. **Harvard Journal of Law & Technology**, 30(2), 309-353. <https://jolt.law.harvard.edu/assets/articlePDFs/v30/Algorithmic-Consumers-Michal-Gal-and-Niva-Elkin-Koren.pdf>
- HACKER, P. (2018). Teaching fairness to artificial intelligence: Existing and novel strategies against algorithmic discrimination under EU law. **Common Market Law Review**, 55(4), 1143-1185. <https://doi.org/10.54648/COLA2018095>
- HARRINGTON, J. E. (2021). **The theory of collusion and competition policy**. MIT Press. <https://mitpress.mit.edu/9780262542296/the-theory-of-collusion-and-competition-policy/>
- KAPLOW, L. (2013). On the meaning of horizontal agreements in competition law. **California Law Review**, 99(3), 683-818. <https://www.californialawreview.org/print/3meaning-of-horizontal-agreements/>
- KLEIN, T. (2021). Autonomous algorithmic collusion: Q-learning under sequential pricing. **RAND Journal of Economics**, 52(3), 538-558. <https://doi.org/10.1111/1756-2171.12383>
- MEHRA, S. K. (2016). Antitrust and the robo-seller: Competition in the time of algorithms. **Minnesota Law Review**, 100(5), 1323-1375. <https://www.minnesotalawreview.org/article/antitrust-and-the-robo-seller-competition-in-the-time-of-algorithms/>
- OECD. (2021). **Algorithms and collusion: Competition policy in the digital age**. OECD Publishing. <https://www.oecd.org/competition/algorithms-collusion-competition-policy-in-the-digital-age.htm>
- PETIT, N. (2020). **Big Tech and the digital economy: The moligopoly scenario**. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198837701.001.0001>
- SCHREPEL, T. (2019). Collusion by blockchain and smart contracts. **Harvard Journal of Law & Technology**, 33(1), 117-175. <https://jolt.law.harvard.edu/assets/articlePDFs/v33/Collusion-by-Blockchain-and-Smart-Contracts-Thibault-Schrepele.pdf>
- SCHWALBE, U. (2021). Algorithms, machine learning, and collusion. **Journal of Competition Law & Economics**, 14(4), 568-607. <https://doi.org/10.1093/joclec/nhz004>
- SELBST, A. D., & BAROCAS, S. (2018). The intuitive appeal of explainable machines. **Fordham Law Review**, 87(3), 1085-1139. <https://ir.lawnet.fordham.edu/flr/vol87/iss3/10>

SOKOL, D. D. (2021). Vertical mergers and entrepreneurial exit. **Indiana Law Journal**, 96(2), 487-538. <https://www.repository.law.indiana.edu/ilj/vol96/iss2/3>

UNCTAD. (2020). Competition policy in the digital age. **United Nations Conference on Trade and Development**. [https://unctad.org/system/files/official-document/ditccp2020d1\\_en.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/ditccp2020d1_en.pdf)

WALTMAN, L., & KAYMAK, U. (2008). Q-learning agents in a Cournot oligopoly model. **Journal of Economic Dynamics and Control**, 32(10), 3275-3293. <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2008.01.003>