

DISCRIMINACIÓN ESPACIAL DE PRECIOS EN EL MERCADO DE MADERA PARA PULPA DE URUGUAY

María Emilia Arriaga Tamosiunas

Programa de Maestría en Economía de la Facultad de Ciencias
Económicas, Universidad de la República.

Montevideo - Uruguay

Junio de 2022

DISCRIMINACIÓN ESPACIAL DE PRECIOS EN EL MERCADO DE MADERA PARA PULPA DE URUGUAY

María Emilia Arriaga Tamosiunas

Tesis de Maestría presentada al Programa de Maestría en Economía de la Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de la República, como parte de los requisitos para la obtención del título de Magíster en Economía.

Director de tesis:

Profesor Titular Dr. Juan Sebastián Pereyra

Codirectora de tesis:

Profesora Adjunta Dra. Virginia Morales Olmos

Montevideo - Uruguay

Junio de 2022

INTEGRANTES DEL TRIBUNAL DE DEFENSA DE TESIS

Montevideo - Uruguay

Junio de 2022

Dedicado a mi familia.

“Distance had an extraordinary power.”

Virginia Woolf, *To the Lighthouse*

Resumen

El sector forestal de Uruguay ha cobrado relevancia en la última década. Principalmente la cadena de celulosa es la que presenta mayor desarrollo a partir de una fuerte inversión extranjera directa y su producto final representa el 75% del valor anual de las exportaciones del sector. Mundialmente el mercado de madera para pulpa de celulosa se caracteriza por desarrollar una estructura oligopsonica, con fuertes incentivos a ejercer poder de mercado en el afán de disminuir costos, principalmente costos de transporte. Este trabajo contribuye al conocimiento del mercado de madera para pulpa de celulosa en Uruguay a través del análisis de la discriminación espacial de precios de la madera en pie. Para ello se realizaron simulaciones de la oferta de madera rolliza, y optimizaciones de los beneficios de los posibles monopsonios espaciales a través de algoritmos genéticos. Se encuentra que la estrategia de discriminación óptima es la más probable en el caso de las empresas presentes en Uruguay, siendo esta del orden de 0.3 en una escala entre 0 (estrategia de precios FOB) y 1 (estrategia de precios Uniforme). Esto implica que las industrias absorberían parte de los costos de cosecha, logísticos y de transporte, para poder abastecerse de productores más lejanos, disminuyendo el beneficio potencial de los productores más cercanos a las industrias.

Palabras clave

Discriminación de precios; monopsonio espacial; simulación de oferta; precio de la madera rolliza

Clasificación JEL: L73, D43, C72

Abstract

The forestry sector in Uruguay has increased relevance in the last decade. The pulp chain presents the greatest development based on attracting foreign direct investment. Its final product represents 75% of the annual value of the sector's exports. Worldwide, the pulpwood market is characterized by an oligopsonic structure, with strong incentives to exercise market power to reduce costs, mainly transportation costs. This work contributes to the knowledge of the pulpwood market in Uruguay through the analysis of the spatial discrimination of standing timber prices. For this, simulations of the roundwood supply were carried out, and profit maximizations of the spatial monopsonies through genetic algorithms. Results show that an optimal discrimination strategy is the most probable in the case of the industries present in Uruguay, being around 0.3 on a scale between 0 (FOB price strategy) and 1 (Uniform price strategy). These results imply that industries would absorb some of the harvest, logistics and transportation costs, in order to be able to buy from more distant producers, reducing the potential benefit of the producers closer to the industries.

Keywords

*Price discrimination; spatial monopsony; roundwood supply simulation;
roundwood price*

JEL Codes: L73, D43, C72

Tabla de contenido

1.	Introducción	7
2.	Motivación y Fundamentos Teóricos	11
2.1	Antecedentes y Justificación	11
2.2	Marco Teórico	16
2.3	Hipótesis	18
3.	Estrategia de Análisis	19
3.1	Simulación de la oferta	20
3.2	La discriminación de precios	22
3.3	Los datos utilizados para la simulación de la oferta	23
3.4	La optimización por parte de la industria	26
4.	Resultados	29
4.1	Características de la oferta	29
4.2	Resultados de la Optimización	32
4.3	Robustez de los resultados	38
5.	Discusión	42
6.	Conclusiones	45
7.	Referencias Bibliográficas	47

1. Introducción

En el año 1968 se promulga en Uruguay la primera ley forestal (Ley N° 13.723), que declara de interés nacional, “la defensa, el mejoramiento, la ampliación y la creación de los recursos forestales, así como también el desarrollo de las industrias afines”. Sin embargo, es recién en el año 1987, con la promulgación de la segunda ley forestal (N°15.939), que el sector forestal uruguayo crece sostenidamente. Fue la segunda ley forestal la que sentó la base para que los recursos forestales se desarrollasen, a través de la creación del Fondo Forestal, que incentivó la inversión privada en el sector.

Este estímulo fue principalmente aprovechado por productores agropecuarios e inversionistas nacionales sin experiencia en el sector, que vieron en los incentivos fiscales una oportunidad para diversificar su actividad o porfolio en determinados sitios de menor desempeño económico (Tamosiunas, 2013). Sin embargo, en la actualidad, los inversionistas del sector forestal son principalmente internacionales, siendo que la mayoría de las plantaciones forestales pertenecen a empresas verticalmente integradas (Morales Olmos et al., 2018) o fondos de inversión, mientras que una minoría de los recursos forestal está bajo la propiedad de productores individuales.

La industria de la producción de pasta de celulosa es el destino principal de los productos forestales primarios de no coníferas en Uruguay. Su producto representa el 73% del valor anual de las exportaciones del sector forestal por un valor aproximado de USD (dólares americanos) 2.100 millones (Uruguay XXI, 2022). En el país, existen únicamente dos empresas verticalmente integradas dedicadas a tal fin: UPM y Montes del Plata. Ambas industrias producen alrededor de 2,6 millones de toneladas de pulpa de celulosa consumiendo aproximadamente 9,5 millones de metros cúbicos de rolos de *Eucalyptus sp.* por año (Dirección General Forestal, Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca [DGF-MGAP], 2021a). A su vez, se está construyendo la segunda planta de la empresa UPM en el país, que tendrá una capacidad instalada para procesar 7,5 millones de metros cúbicos de madera por año y producir 2,1 millones de toneladas de pulpa; por lo que se espera que la pulpa de celulosa se establezca como el principal producto de exportación del país en los próximos años.

A pesar del rápido desarrollo del sector, la producción forestal es una actividad reciente para el país en relación con otras producciones más tradicionales como la ganadería, la lechería o la agricultura. Los estudios económicos sobre el sector forestal de Uruguay son escasos. Particularmente la interacción entre los productores de madera y las industrias de Uruguay está poco estudiada.

Por otra parte, los mercados relacionados a los recursos naturales son propensos a tener imperfecciones y problemas de competencia; generalmente derivados de su estructura oligopsonica, con muchos productores y pocos procesadores (Murphy, 2006). Estos problemas se acentúan debido a la distribución espacial de los recursos y los costos de transporte, lo que habilita a las industrias a ejercer poder de mercado (Rogers y Sexton, 1994). Este poder de mercado se manifiesta generalmente a través de un esquema de precios en la compraventa de la materia prima que discrimina por locación según Graubner, Balmann y Sexton (2011a). En acuerdo con estos autores, en el presente trabajo se considerará discriminación de precios todas aquellas estrategias de precios de las industrias hacia los productores que determinen un precio en pie por su madera diferencial según su distancia relativa a la planta procesadora.

En el mercado de madera rolliza¹ con destino a pulpa de celulosa el transporte terrestre de la materia prima representa el 80% de los costos logísticos totales y las distancias promedio que se recorren desde el establecimiento a la industria son superiores a los 200 km (Souto et al. 2018). Sin embargo, no se conoce hasta el momento si existe discriminación de precios en este mercado, ni cómo influye la distribución espacial de los productores a los precios que reciben por su madera. Dada la relevancia que adquirió el sector, es de importancia entender las estrategias de precios por las que optan las industrias al momento de comprar la madera para tener un mayor conocimiento del comportamiento competitivo del mercado. Por lo que este trabajo se propone analizar la estrategia de precios que realizan las industrias de pulpa de celulosa de Uruguay al momento de comprar la madera en pie a los productores.

Objetivos principales del trabajo

Debido al importante papel que juegan las empresas productoras de pulpa de celulosa en el sector forestal uruguayo y en la economía del país, y dado que una nueva planta industrial se está construyendo, es importante comprender qué características definen el negocio forestal de madera rolliza para pulpa y qué problemas de competencia e imperfecciones pueden existir que estén afectando los resultados del mercado.

Particularmente, dada la gran importancia que tienen la ubicación de la materia prima y los costos logísticos en el sector forestal, es de interés de esta tesis contestar las preguntas: ¿Existe discriminación espacial de precios de la madera rolliza para pulpa ofrecidos a los productores por

¹ Según la definición de FAO, la madera rolliza o en rollo: comprende toda la madera obtenida de las extracciones, siendo que no se elabora antes de su uso y que no se emplea como leña.

parte de la industria al momento de comprarla? Si existiera, ¿qué estrategia de precios es más probable que utilicen las industrias?

Este trabajo pretende contribuir al conocimiento del mercado de madera rolliza con destino celulósico dentro del sector forestal uruguayo, y analizar las elecciones estratégicas por las que podrían optar las industrias de pulpa de celulosa cuando se compra la madera rolliza en pie, y sus consecuencias sobre la localización de la producción de madera.

Particularmente, dada la relevancia que tiene la localización geográfica de las firmas en la definición de la estructura de mercado, esta tesis pretende servir de orientación para la toma de decisiones productivas y el desarrollo de políticas a futuro, principalmente aquellas vinculadas al ordenamiento territorial y a la planificación de infraestructura vial.

Principales hallazgos

En este trabajo se presenta una introducción al sector forestal uruguayo, exhibiendo antecedentes nacionales e internacionales que motivan esta tesis, tales como la existencia de imperfecciones de mercado en el sector forestal internacional y las exiguas referencias a nivel nacional sobre la temática. El marco teórico se enfoca en la teoría sobre la discriminación espacial de precios y los resultados encontrados en la literatura para este fenómeno.

Dado que no se cuenta con una base de datos que permita estimar la elasticidad precio de la oferta, se simulan las características de los productores y el volumen de madera en pie que producirían, construyendo de esta forma una matriz de datos que permiten representar la oferta de madera rolliza en pie en Uruguay. Con el fin de analizar la posible existencia de discriminación espacial de precios al momento de la compraventa de la madera y dada la heterogeneidad de la oferta, se utiliza un modelo de maximización de beneficios que contempla la ubicación del productor y que se optimiza a través de algoritmos genéticos, OptQuest y programación lineal. En esta maximización se asume que las industrias actúan de forma independiente entre ellas (juego no cooperativo), ofertando un determinado precio a los productores por la madera en pie que no es negociable. El mismo estará definido por un precio en planta y un parámetro de discriminación que forman parte de las elecciones de las industrias al momento de optimizar su beneficio.

Los resultados encontrados en este trabajo son relevantes, dado que trabajos anteriores no contemplan la heterogeneidad en la distribución del bien, asumiendo en su mayoría que la oferta se distribuye homogéneamente entre las dos industrias (Zhang y Sexton, 2001; Alvarez et al., 2000; Fousekis, 2011 y Graubner et al., 2011a). En este trabajo se observa que UPM enfrenta una disponibilidad de madera con una distribución bimodal, con un amplio rango de distancias y una mayor concentración de la

oferta en distancias lejanas, mientras que Montes del Plata presenta la oferta concentrada más homogéneamente distribuida en un rango menor de distancias.

Los resultados obtenidos en este trabajo indican que la discriminación espacial es un evento probable, por lo que el precio FOB (precio en planta) que usualmente se utiliza como precio de referencia del mercado de madera rolliza no es necesariamente una buena referencia del precio efectivo que recibirá el productor al momento de vender su madera. La localización del productor con respecto a la industria determina el precio que este recibe, y estar ubicado más cerca de la industria no garantiza un mejor precio.

En este sentido, se encuentra que las industrias optan por estrategias de precios similares, utilizando un esquema de discriminación del orden de 0.3, siendo que 0 implica una estrategia de precios FOB y 1 una estrategia de precios uniforme (único precio ofertado independientemente de la ubicación). Esto sugiere que la distribución espacial del recurso es de gran importancia al momento de elegir una estrategia de precios por parte de la industria, e implica que, si el recurso no está homogéneamente distribuido en el espacio y se encuentra concentrado en un radio de amplitud considerada, la industria optaría por la discriminación de precios, que disminuye el beneficio potencial de los productores ubicados más cercanos a la industria, para poder abastecerse también de aquellos más lejanos y que le significan un mayor costo. Estos resultados deben considerarse dado que trabajos anteriores no contemplan la heterogeneidad en la distribución del bien, asumiendo en su mayoría que la oferta se distribuye homogéneamente entre las dos industrias (Zhang y Sexton, 2001; Alvarez et al., 2000; Fousekis, 2011 y Graubner et al., 2011a).

Los resultados encontrados van en línea con la literatura consultada, donde la discriminación espacial de precios con absorción de costos de transporte se da mayormente en estructuras de mercado intermedias (Fousekis, 2011; Graubner, Balmann y Sexton, 2011a). Además, el rango de precios en planta resultado de la optimización coincide con el rango de precios publicado en los últimos informes de Exportaciones de Madera realizados por la Dirección General Forestal (DGF-MGAP, 2021b); sugiriendo en gran medida una validación de los resultados obtenidos.

Los resultados de este trabajo refuerzan la importancia de estudiar el componente espacial, sobre todo para políticas de ordenamiento territorial, ya que pueden afectar los precios que reciben los productores localmente. A la luz de esto, y dado que la estrategia de precios FOB no es la estrategia más probable, los productores que se encuentran más cercanos a la industria no recibirán necesariamente una mejor oferta dada su ventajosa ubicación respecto a otros productores. El precio ofertado por las industrias dependerá de la distribución espacial de la oferta en el momento de la comercialización.

2. Motivación y Fundamentos Teóricos

2.1 Antecedentes y Justificación

El sector forestal en Uruguay

El sector forestal representa aproximadamente el 3,8% del PIB de Uruguay (Exante, 2020) y se sustenta de bosques implantados, ya que sus bosques naturales no son capaces de cubrir los requerimientos de la industria y están protegidos por ley². Esto lleva a que las decisiones tomadas antes y durante la fase agraria sean de importancia, debido al tiempo transcurrido entre la realización de la inversión y la obtención de los productos comercializables (Tamosiunas, 2013).

El sector forestal en Uruguay cuenta con tres cadenas de producción que dependen de las industrias procesadoras: la cadena de celulosa y papel, la de madera sólida (aserrío, debobinado, tableros, etc.) y la de energía (leña, residuos forestales y biocombustibles). Todas las cadenas tienen en común tres fases: la fase agraria primaria que comprende desde el mejoramiento del material genético y su reproducción hasta la implantación, los manejos y la cosecha del bosque. La fase industrial que comprende la transformación de la madera rolliza bruta a otros productos y su comercialización; ya sea que esta se realice en pie³, a borde de camino o puesto en la industria. Por último, la fase de logística, transporte y servicios profesionales asociados, que se encuentra de manera transversal en toda la cadena. Esto significa que los costos de cosecha y logísticos pueden estar a cargo de la industria, del productor de madera o de un intermediario logístico.

Dentro de los mercados locales posibles para los productos madereros del bosque existen empresas integradas verticalmente que se abastecen a sí mismas de materia prima propia, pudiendo o no comprar a terceros la madera. Este es el caso de las industrias de celulosa, que se abastecen de bosques propios y de terceros, representando el 67% de la demanda de madera (Souto et al., 2018). En el caso de los aserraderos, los más grandes y de mayor producción utilizan materia prima principalmente nacional y de sus propios bosques, llegando a consumir entre 700 y 500.000 metros cúbicos de madera rolliza por año según la Encuesta de Aserraderos (DGF-MGAP, 2020). Mientras que la industria de energía utiliza los desechos de las otras dos industrias y su demanda es mayoritariamente industrial o a nivel de hogar para calefacción.

En el mercado internacional, las exportaciones de madera rolliza de *Eucalyptus sp.* que usualmente tenían como destino el mercado de celulosa internacional, se redujeron a partir del desarrollo de la

² Ley forestal N° 15.939

³ La venta en pie corresponde a la venta del bosque aún sin cosechar.

instalación de las industrias de celulosa que se encuentran en Uruguay. Por otra parte, los mercados internacionales para chips de madera⁴ han tenido dificultades en los últimos años, por lo que su demanda permanece por debajo del millón de toneladas y los “chipeadoras” se ven obligados a reorientar parte de su producción a las industrias de celulosa nacionales (Uruguay XXI, 2021).

Actualmente los recursos forestales provenientes de plantaciones ocupan 1.034.000 hectáreas según la Cartografía Nacional Forestal publicada por la Dirección General Forestal (DGF-MGAP, 2018). De la cifra anterior, el 27% está ocupado por *Eucalyptus grandis*, el 22% por *Eucalyptus dunnii* y el 17% por *Eucalyptus globulus*.

Estas especies son las principalmente utilizadas en la fabricación de pulpa de celulosa de fibra corta a nivel nacional. A la fecha en Uruguay hay dos plantas elaboradoras de pasta de celulosa en funcionamiento; y una tercera que se presume operativa a finales del primer trimestre del 2023. La ubicación de esta nueva planta significa un cambio en el posicionamiento geográfico-estratégico de la empresa UPM dado que, al estar ubicada en el centro del país, tendrá mejor acceso a las plantaciones del sector norte y del sector centro-este del país.

Actualmente, UPM gestiona alrededor de 260 mil hectáreas de plantaciones en catorce departamentos, principalmente en el oeste y noreste de Uruguay, incluidas las tierras propias y de terceros bajo el Programa Fomento (UPM, 2019). Mientras que Montes del Plata (MdP) gestiona más de 170 mil hectáreas de *Eucalyptus sp.* (Montes del Plata, 2019), distribuidos en trece departamentos del país, pero concentrándose principalmente en la zona centro, sur y oeste. Esto significa que ambas empresas gestionan más del 40% de la superficie forestal del país.

El componente geográfico es un aspecto fundamental en la estrategia productiva y económica de la producción forestal. Las especies de *Eucalyptus* cultivadas en el país tienen una marcada distribución a nivel territorial, dada en gran parte por su adaptación a los suelos y condiciones climáticas. De la Cartografía Nacional Forestal (DGF-MGAP, 2018) se desprende que al norte del Río Negro predomina el *Eucalyptus grandis*, en la región litoral y centro-sur predomina el *Eucalyptus dunnii*, mientras que en el este y sureste del país se encuentra el *Eucalyptus globulus*. A su vez, los suelos juegan un papel en los costos y decisiones productivas, dado que suelos más duros⁵ tendrán mayores costos de preparación de la tierra, mientras que los suelos no clasificados como de prioridad forestal podrían tener limitaciones jurídicas para el desarrollo de la actividad.

⁴ El chip de madera es una partícula de madera que se utiliza como insumo en los procesos de producción de celulosa. Se obtiene mediante el astillado de la madera rolliza bruta.

⁵ Suelos que presentan limitantes físicas al desarrollo radicular.

En relación con el componente geográfico es importante destacar que en la actividad forestal el principal costo logístico es el transporte⁶, siendo además que el precio de referencia de la tarifa para el transporte carretero de madera aumentó un 61% entre 2010 y 2018 (Tanco et al., 2018). Por otra parte, Souto et al. (2018) indican que la distancia media recorrida es de 243 km/t, siendo la actividad con mayor distancia media global recorrida y la de mayores costos de transporte en comparación con otras producciones; por lo que la ubicación de las plantaciones forestales en relación a las industrias o puertos son elementos decisivos en el negocio.

Es así, que UPM se abastece en un 80% de bosques provenientes de Río Negro, Tacuarembó, Cerro Largo y Paysandú; mientras que el restante 20% proviene de otros 5 departamentos, donde los aportes de Durazno, Florida y Soriano superan el 5% del total (Souto et al., 2018). Para ello emplea 10 frentes de corte y carga simultáneos (7 contratados y 3 propios) y la madera cosechada mayoritariamente se traslada a la industria; mientras que una parte menor va a puntos de acopio intermedios ubicados en Tacuarembó, Durazno, Paysandú y Fray Bentos. Para el transporte intervienen 39 empresas, que utilizan 259 camiones; ingresando diariamente a la planta en Fray Bentos unos 340 camiones (Souto et al., 2018).

Por otra parte, el 58% de la madera que MdP emplea en su industria proviene de Río Negro, Paysandú, Durazno y Soriano. Esta se recibe en Punta Pereira o en la Terminal Logística de M'Bopicuá (Fray Bentos), repartiéndose el 50% en cada destino; empleando para ello 300 camiones contratados a 25 empresas de transporte. La madera recibida en la terminal M'Bopicuá es trasladada en barcazas hasta Punta Pereira. A su vez, la empresa cuenta con dos acopios intermedios, uno en Algorta y otro en Canelones, donde se almacena el 5% del volumen utilizado durante el año (Souto et al., 2018).

¿Qué se sabe a nivel nacional del sector?

Las políticas forestales y los trabajos de investigación a nivel nacional sobre el sector forestal, se centraron principalmente en cuestiones productivas o ambientales, como lo son: el mejoramiento genético, la nutrición vegetal, la extracción de nutrientes del suelo, la productividad, las características físico-químicas de las maderas, el impacto sobre las cuencas hidrográficas, el impacto sobre la biodiversidad, entre otras. Sin embargo, al ser un sector relativamente nuevo en comparación con producciones más tradicionales en el país, son pocos los trabajos por parte de la academia que analizan la estructura del sector forestal uruguayo desde una perspectiva económica o social.

⁶ <http://tardaguila.com.uy/web/forestal/item/12700-en-uruguay-el-principal-costo-es-el-transporte;>
<https://www.elobservador.com.uy/nota/el-transporte-de-carga-talon-de-aquiles-de-la-forestacion-20129818420;>
<http://www.revistaforestal.uy/destacados/el-precio-de-la-competitividad.html>

Por ejemplo, Morales Olmos et al. (2018) estudian y caracterizan el sector forestal uruguayo productor de *Eucalyptus globulus* encontrando que “*el sector forestal se dirige hacia un mercado fuertemente concentrado en la demanda de las dos empresas productoras de pulpa de celulosa coexistiendo con un sector productor de E. globulus cuyo portafolio de ventas está determinado por el precio de la madera en el mercado local y en el exterior*” (p. 1).

En la misma línea, Boccardo y Lovazzano (2014) caracterizan el sector forestal como un complejo agroindustrial (CAIF) y revisan los cambios de política ocurridos desde la implementación de la primera ley forestal, concluyendo que “*los cambios importantes dentro del CAIF se realizan hacia el exterior casi únicamente con destino a zona franca Fray Bentos, donde se encuentra la industria de celulosa. (...) y que el núcleo del mismo sigue estando en la industria, pero quien tiene el poder de decisión hoy es la industria de la celulosa y no la industria del papel*” (p. 71).

En un trabajo anterior, Tamosiunas (2013) describe al sector y analiza cómo la política sectorial y la inversión extranjera moldearon el negocio forestal y los cambios en los precios de la tierra y los servicios. Particularmente, resalta que la inversión extranjera ha sido determinante para el desarrollo del sector forestal uruguayo. Asimismo, Morales Olmos y Siry (2008) realizan una evaluación de impacto económico del sector forestal encontrando un impacto neto positivo al compararlo con la producción ganadera tradicional del país.

Desde la sociología, Curbelo (2009) analiza las relaciones de poder en el sector forestal. Encuentra que las empresas de capitales extranjeros son “*las que determinan por medio del nivel de sus exportaciones, inversiones, innovación tecnológica y propiedad de los medios de producción, qué, cómo, cuándo y dónde producir*” (p. 126). Además de aseverar que “*existe un control de tipo oligopólico por parte de estas empresas; que ha sido uno de los principales puntos de conflicto en estos años*” (p. 126). Por otra parte, Curbelo (2009), señala el control sobre el transporte como fundamental e indica que es uno de los puntos claves para mantener el poder.

Particularmente no existen estudios nacionales que contemplen la interacción económica entre las empresas multinacionales productoras de pulpa de celulosa con los productores forestales locales al momento de tener que decidir vender la madera.

¿Qué aporta la literatura internacional?

Las imperfecciones de mercado están presentes en el sector forestal y aparecen con más frecuencia en el mercado de la pulpa y el papel, debido a que son sólo algunas pocas industrias compradoras de madera y muchos productores (Brännlund, 1989). Por otra parte, los mercados de madera presentan una oferta relativamente inelástica, por lo que las industrias tienen mayores probabilidades de coludir

y menguar los precios locales sin disminuir sustancialmente la cantidad total de madera suministrada al mercado (Olofsson y Lundmark, 2016). En el ámbito internacional, particularmente para el mercado de pulpa finlandés, existe evidencia de que Stora Enso y UPM entre otras, participaron de un cártel que llevó a que el valor de la madera de pino para pulpa se redujera en un 10% entre 1997 y 2004 (Kuuluvainen et al., 2021). Otro estudio sobre el mercado de pulpa finlandés sugiere que el poder de mercado y el comportamiento no competitivo estaría dado por regiones (Kallio, 2001), por lo que cobra relevancia la distancia entre el bosque y la industria.

Por otra parte, en el mercado de la madera para pulpa estadounidense, se encontró que el poder de mercado por parte de las industrias estaba atado al tamaño de las mismas y su concentración; y que existía correlación entre las estimaciones realizadas sobre la elasticidad conjetural⁷ y la distancia de los bosques a la industria, sin embargo, los efectos sobre el bienestar no eran significativamente negativos como para que se justificase una intervención por parte del gobierno (Kanieski da Silva et al., 2019).

Generalmente los compradores de madera rolliza son propensos a tener poder monopsónico espacial⁸ de forma natural, debido a cómo se distribuye el recurso, es decir, los bosques (Johannson y Löfgren, 1985; Olofsson y Lundmark, 2016). Además, dado que los mercados de pulpa se caracterizan por una estructura oligopsónica, con pocos compradores y muchos vendedores, por ser intensivos en capital y estar afectados por los elevados costos de transporte en relación al precio de la madera para pulpa, existen fuertes incentivos a que la industria, en el afán de disminuir costos, ejerza poder de mercado (Kanieski da Silva, 2018); entendiéndose este como la habilidad de afectar los precios (fijando los precios de compra por debajo del nivel del mercado competitivo), de reducir la competencia o de fijar estándares para ese sector de actividad (Murphy, 2006).

En referencia a la distancia de adquisición de la materia prima en los mercados de madera rolliza, Parajuli y Chang (2015) indican que el 90% de la madera rolliza comprada por las industrias en el norte de los Estados Unidos es suministrada por productores en un rango de distancia de aproximadamente 46 a 112 kilómetros de la industria. Este pequeño rango parece confirmar la explicación de porqué algunas industrias podrían seguir comportándose de forma no competitiva sin el riesgo de estar sujetas a una mayor competencia como lo indican Olofsson y Lundmark (2016).

⁷ Mide la respuesta del mercado al cambio de las cantidades producidas de producto (o usadas de insumo) de una empresa. El valor de esta elasticidad varía entre 0 y 1; siendo que 0 indica competencia perfecta y 1 oligopolio/oligopsonio.

⁸ El poder de establecer los precios de compra del recurso cuando el comprador enfrenta poca competencia por parte de otros compradores debido a las distancias entre firmas y/o a los costos de transporte asociados a la compra.

2.2 Marco Teórico

Desde la teoría de juego, dentro de los modelos de duopolio/ duopsonio se encuentran modelos que se diferencian en el espacio de estrategias (precios o cantidades) y por los conjuntos de información (si uno de los agentes sabe o no qué ha elegido el otro cuando toma su decisión). En el caso de existir dos empresas compitiendo, que tiene como variable relevante al precio dentro de sus estrategias, y las jugadas son simultáneas, se considera la competencia a la Bertrand.

El modelo de Bertrand tradicional, cuando la distribución espacial no importa, puede concebirse como un modelo de pujas competitivas, donde cada una de las empresas presenta una oferta secreta en la que indica el precio que pagará a todos los proveedores; las ofertas se abren y el mayor postor se queda con los clientes (Varian, 1992), lo que llevará a un equilibrio de Nash que se asemeja a competencia perfecta.

Sin embargo, cuando la distribución espacial de los agentes importa y los costos de transporte aumentan con la distancia, como es el caso de los mercados agrícolas y de los recursos naturales, la competencia disminuye (Graubner, Balmann y Sexton, 2011a). Esto es debido a que los costos de transporte son relativamente elevados en relación al valor total de los productos, limitándose las opciones de los productores en cuanto a qué industria vender su producción (Fackler y Goodwin, 2001).

Esto habilita a la formación de monopsonios espaciales con poder de mercado por parte de las industrias, dado que tienen la posibilidad de realizar discriminación de precios al comprar el producto, ya que sólo consideran como competidoras aquellas industrias que se encuentren lo suficientemente cerca (Graubner, Balmann y Sexton, 2011a).

En la teoría espacial de precios, la discriminación de precios es atractiva para la industria cuando esta asume el costo del transporte, y generalmente se consideran tres políticas: el precio en industria, el precio uniforme y la discriminación local óptima (Beckmann, 1976). El precio en industria corresponde al precio que recibe la mercadería en la puerta de la industria, generalmente denominado free-on-board (FOB). El precio uniforme corresponde a un único precio de compra para todos los productores siendo la industria la que se hace cargo de los costos de transporte, independientemente de la ubicación y la distancia del productor a la planta industrial. En este sentido, se considera el precio uniforme para el productor cercano es más desfavorable, o sea más discriminante (Graubner, Balmann, Sexton; 2011a), dado que los beneficios potenciales que podría adquirir por el escaso costo de flete no se ven reflejados en comparación con el precio FOB. Por último, el precio con discriminación óptima se considera como un intermedio entre el precio FOB y el uniforme.

Corresponde al precio local que oferta la industria para cada localización posible del productor, maximizando así su beneficio.

La estrategia de precios utilizada por las firmas depende de la estructura del mercado; encontrándose en la literatura distintas evidencias. Por ejemplo, Espinosa (1992) encuentra que el precio uniforme facilita la colusión y es la estrategia de equilibrio cuando las industrias están en competencia monopolística o en competencia perfecta, mientras que la estrategia de precios FOB es utilizada en estructuras de mercado intermedias. En contraposición, Zhang y Sexton (2001) critican el trabajo de Espinosa (1992) al encontrar que una demanda perfectamente inelástica sesga la elección de precios hacia el precio uniforme y concluyen que el precio FOB es más frecuente en estructuras de mercado altamente competitivas, mientras que el precio uniforme aparece frente a menor competencia.

Por otra parte, Fousekis (2011) llega a la conclusión que el precio uniforme es elegido en oligopsonios con mercados donde los costos de transporte son pequeños en relación al valor neto del bien primario; mientras que el precio FOB es elegido cuando los costos de transporte son elevados; encontrando a su vez que los competidores eligen estrategias mixtas de precio FOB y uniforme cuando la estructura de mercado es intermedia.

Similar a esto, Graubner, Balmann y Sexton (2011a) encuentran que cuando existen oligopsonios con poder de mercado, el precio más frecuente es el precio uniforme o de lo contrario la discriminación óptima con cierto grado de absorción de costos de transporte.

Sin embargo, el precio uniforme sería el más sensible al tamaño del mercado y, por lo tanto, el más inestable según Beckmann (1976), indicando que existen ciertas ventajas en utilizar precios FOB, y que es por esto que es la que se encuentra más frecuentemente en práctica. Por ejemplo, el precio en planta industrial sería más fácil de administrar, siendo esto particularmente cierto cuando terceras partes se encargan del transporte; además de que esta estrategia protege ante una acusación por discriminación. Sin embargo, la estrategia FOB implica que se encarezca para compradores distantes en zonas marginales.

Por último, es importante resaltar el trabajo de Löfgren (1992), que prueba que, bajo un monopsonio espacial, se esperarían con mayor probabilidad que los productores acepten todas las entregas al precio preestablecido por la industria.

2.3 Hipótesis

Las industrias no informan los precios de compra en pie voluntariamente al mercado, tampoco el vendedor dispone de un boletín de precios de referencia. Los precios en planta de las distintas transacciones se infieren por las estadísticas de exportación dado que estas se encuentran en zona franca. Esto determina que para un productor vendedor de madera en pie no haya información fidedigna de precios actualizada al momento de la comercialización.

Dada la literatura y la evidencia presentada anteriormente, que indica que este tipo de mercados, donde la distribución espacial del bien comercializado y los costos de transporte son relevantes, tienden a la formación de monopsonios espaciales que ven atractiva la discriminación de precios (Graubner, Balmann y Sexton (2011a); y donde la estrategia FOB se encontraría preferentemente en estructuras de mercado altamente competitivas (Zhang y Sexton, 2001), se plantea como hipótesis de este trabajo, que el precio ofrecido por las industrias de pulpa de celulosa a los productores de madera rolliza al momento de comprarla en pie, presenta una estrategia de precios distinta a la FOB.

3. Estrategia de Análisis

Entre los agentes que componen el mercado de la madera rolliza para pulpa se encuentran dos industrias procesadoras (demanda) y los productores de madera (oferta).

Para abordar este trabajo, y dado que no se encuentra disponible una base de datos para el sector que informe: número efectivo de productores, volumen transado por productor, especie transada por productor, distancia media de transporte por venta a la planta, precio recibido luego de ajustes por transacción y logística por productor, tipo de producto tranzado por productor (con o sin corteza, grado de humedad, dimensiones del producto transado), costos capitalizados de producción por metro cúbico ofrecido por productor, en otras variables; se plantea realizar simulaciones de las características de los agentes que componen la oferta de madera rolliza para pulpa de celulosa y de las decisiones de discriminación de precio de las industrias presentes en Uruguay.

Se propone realizar un análisis de probabilidad de ocurrencia de los eventos de discriminación espacial de precios para contrastar la hipótesis. Se realizará a través del estudio de las funciones de distribución empíricas resultado de las simulaciones.

Supuestos generales:

1. Los productores de madera rolliza son heterogéneos. Difieren en las especies utilizadas, en su localización, en el crecimiento medio anual de sus bosques (afectando el volumen disponible por bosque), en la superficie forestal efectiva⁹ y área forestal afectada¹⁰; en los costos de inversión en tierra y en los costos de oportunidad del capital.
2. Los costos de administración y mantenimiento son iguales para todos los productores. Los costos de implantación del bosque varían de acuerdo a la especie utilizada. Los costos de administración son fictos y se expresan por hectárea afectada. Los costos de implantación y mantenimiento son expresados por hectárea productiva efectiva. No poseen costos fijos que no dependan de la unidad productiva, por lo que presenta una curva de costos medios constantes, siendo ésta igual a su curva de costos marginales.

⁹ La superficie efectiva corresponde a la superficie que contiene los árboles sin estar contemplados caminos perimetrales, cortafuegos, bajos ni áreas rocosas.

¹⁰ La superficie afectada corresponde a la superficie efectiva más el área ocupada por caminos, cortafuegos, área de bajos y áreas rocosas. Generalmente es calculada como un 40% más sobre el área efectiva.

3. Los bosques considerados están en condiciones productivas y económicas de ser cosechados en un turno de 10 años y en perfectas condiciones sanitarias.
4. No existe valor de recuperación en tocones, al cosechar se matan con herbicida. Por lo que se considera un único ciclo productivo de 10 años.
5. Tanto las industrias como los productores tienen como regla comportamental la maximización de su propio beneficio.
6. Los productores son tomadores de precio, mientras que las industrias cuentan con poder de mercado, no compitiendo entre ellas.
7. Ambas industrias tienen estrategias simétricas y simultáneas, tanto para Montes del Plata como UPM su estrategia consiste en ofertar un determinado precio local de compra de la madera en pie no negociable.

3.1 Simulación de la oferta

Por ser una actividad donde la inversión se realiza 10 años antes de conseguir retornos, es que se deben actualizar los costos e ingresos esperados en cada año de la actividad por parte de los productores (Faustmann, 2018). Por lo que el pago para el productor por aceptar realizar la actividad con un precio de venta determinado será aquel que remunere la inversión propia de la actividad forestal más su inversión en tierra. Este valor se puede estimar a través del Valor Presente Neto (VPN) del Flujo Neto de Caja¹¹. Este indicador tiene como criterio de aceptación un valor superior a cero dado un determinado costo de oportunidad del capital del inversor, es decir, una determinada tasa de interés por realizar dicha actividad. El VPN se define como:

$$VPN(i) = \sum_{t=1}^T \frac{A_t}{(1+i)^t} - C_0 - \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad (1)$$

Donde A_t son los ingresos, C_0 es la inversión inicial, C_t son los costos, T es el período total que conlleva la actividad e i es la tasa de interés. Por lo que el pago al productor es una función continua que depende del ingreso y los costos de la actividad.

¹¹ VPN = Flujo Neto de Caja/(1+i)^t – Inversión inicial. Donde i= tasa interna de retorno esperada y t es el número de períodos.

El ingreso para el productor es función del precio ofertado por las industrias, el volumen de madera y el valor de recuperación de la inversión en tierra y caminería. El único ingreso que percibe el productor es al momento de vender la madera en el año 10.

Por lo que,

$$A_t = 0 \forall t = 0,1, \dots, 9; \text{ y } A_t = w(r)q + R \forall t = 10 \quad (2)$$

Donde $w(r)$ es el precio que recibe el productor por la madera dada su ubicación r , q la cantidad vendida y R es el valor de recuperación de la tierra y la caminería.

El volumen de madera es función del potencial de crecimiento de los árboles dado por su ubicación geográfica y por la duración de la rotación. En este caso se asume un crecimiento lineal dado por el incremento medio anual (IMA) de la plantación.

Los costos para el productor son función de la inversión inicial en tierra, las actividades de preparación (marcación de rodales, laboreo y aplicación de herbicidas e insecticidas) y plantación (C_0); los costos de mantenimiento de la plantación (aplicación de herbicidas y control de hormigas) que se presumen en los dos años siguientes de realizada la plantación (M); y los costos de administración (seguro, vigilancia contra incendios, mantenimiento de cortafuegos, inventarios, etc.) que se generan a lo largo de todo el período de actividad (C_t);

Por lo que,

$$VPN(i) = \frac{w(r)q + R}{(1+i)^{10}} - C_0 - \sum_{t=1}^2 \frac{M}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^{10} \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad (3)$$

Al ser los productores tomadores de precios y la cantidad de madera estar determinada con antelación, el precio que retorna un VPN igual a cero a un determinado costo de oportunidad del capital será el mínimo precio al que el productor estará dispuesto a vender su madera. En este sentido, el productor aceptará vender su madera si el precio ofertado por la industria cubre la inversión y los costos de la actividad realizados, actualizados por una tasa de interés de referencia equivalente a su costo de oportunidad.

3.2 La discriminación de precios

Al igual que los trabajos de Zhang y Sexton (2001), Alvarez et al. (2000), Fousekis (2011) y Graubner et al. (2011a), en este trabajo se propone que, la industria determina el precio local de madera en pie de acuerdo a un precio en planta (m), la distancia del productor a la industria (r), un costo de cosecha y construcción de caminería (c), el costo del transporte (T) y de la proporción del costo que paga, el parámetro relacionado a la discriminación (α) tal que $0 \leq \alpha \leq 1$, siendo:

$$w(r) = m - \alpha(Tr + c) \quad (4)$$

Por lo tanto, las estrategias de las industrias están basada en elegir el precio en planta (m) y el grado de discriminación (α), es decir, cuánto del costo de transporte y cosecha trasladan al precio que recibe el productor.

El grado de discriminación ejercido por la industria estará dado por $1-\alpha$. Cuando $\alpha = 1$ la industria no absorbe ningún costo de transporte y el productor paga el costo de transportar su producto hasta la planta, lo que equivaldría a una estrategia de precio FOB, no discriminando entre productores. En el caso de $\alpha = 0$, la industria absorbe los costos de transporte, siendo esta estrategia la de precio uniforme y, por lo tanto, discriminando a favor de los productores distantes (Fousekis, 2011). Cualquier estrategia que no sea FOB, supone una desventaja para los productores ubicados cercanos a las industrias, siendo la desventaja aún mayor cuando se establece un esquema de precios uniforme.

Por otra parte, las industrias producen un bien final que compite en el mercado internacional en competencia perfecta y presenta un beneficio marginal (ϕ) dado por la diferencia entre el precio del bien industrial y los costos marginales de producción que se consideran constantes por unidad de producto.

Siguiendo el trabajo de Zhang y Sexton (2001) y Graubner et al. (2011a), se incluye la importancia del espacio, dado por la competitividad relativa. La competitividad relativa estará dada por la ratio entre el costo de transporte (T), la distancia de mercado (D)¹² sobre el beneficio marginal (ϕ). Bajos valores de este ratio determinan que el mercado es altamente competitivo, mientras que valores altos indican que el mercado de cada industria no se solapa y que actúan como monopsonios espaciales. En este caso, se supone que ambas industrias tienen un radio de operación idéntico, por lo que se utiliza una distancia de mercado normalizada de un kilómetro (km) para ambas industrias.

¹² Tanto Zhang y Sexton (2001) como Graubner et al. (2011a), suponen en sus modelos una ciudad lineal con las industrias ubicadas a cada extremo de la ciudad, representando de esta forma la distancia máxima de operación de cada industria.

Dado los supuestos presentados y siguiendo el trabajo de Graubner et al. (2011a), el beneficio (π) de la industria en una determinada locación, depende del beneficio marginal de la celulosa (φ), del precio local ofertado al productor $w(r)$, de la competitividad y de la cantidad de madera comprada (Q) al productor, tal que:

$$\pi = \left[\varphi - w(r) - \frac{TD}{\varphi} r \right] Q \quad (5)$$

Por lo tanto, las industrias buscan maximizar la suma de los beneficios locales, obtenidos por la compra de madera en pie a cada productor j (siendo $j=0, 1, 2, \dots, n$), de acuerdo con:

$$\max_{\alpha, m} \sum_{j=0}^n \pi_j = \max_{\alpha, m} \sum_{j=0}^n \left[\varphi - w_j(r) - \frac{TD}{\varphi} r_j \right] Q_j \quad (6)$$

Que sustituyendo la fórmula (4) en (6), quedaría:

$$\max_{\alpha, m} \sum_{j=0}^n \left[\varphi - (m_j - \alpha_j(T r_j + c)) - \frac{TD}{\varphi} r_j \right] Q_j \quad (7)$$

3.3 Los datos utilizados para la simulación de la oferta

Se elaboró una matriz con las posibles situaciones de producción que simulan la oferta del mercado de madera rolliza para pulpa según tres zonas de producción: norte, litoral/centro y este. Se simuló una muestra aleatoria de 900 productores, distribuidos en las tres regiones con idéntica probabilidad de ser seleccionado; asignándose a cada productor aleatoriamente una superficie productiva efectiva de acuerdo con la tabla 1, con probabilidades según el peso relativo que presentan en la distribución real. Para la distribución real de los productores y su superficie promedio se utilizó información presentada por la Sociedad de Productores Forestales (SPF) (MovusTV, 2021, 58m26s)¹³ basada en datos de sus empresas asociadas.

¹³ Información presentada por Miguel Helou el día 7 de abril del 2021 en debate: “Impactos sociales de la forestación en Uruguay (Parte III): La opinión de académicos e investigadores”, organizado por Movus.

Tabla 1. Distribución de productores de madera según características productivas

Rango de tamaño de establecimiento de los productores (ha)	Nº de productores	Proporción de productores con respecto al total (%)	Superficie predial promedio (ha)	Superficie efectiva promedio plantada (ha)
0-100	55	5,6%	53	28
100-200	86	8,8%	148	59
200-500	273	27,9%	326	88
500-1000	292	29,9%	724	138
1.000-2.000	178	18,2%	1.368	217
>2.000	94	9,6%	3.417	515
Total	978	100%	900	161

Fuente: Adaptado de SPF.

En cuanto a la especie plantada (tabla 2), a los productores ubicados en zona Norte, se les asignó *Eucalyptus grandis*, con un valor de la tierra de 2.468 dólares por hectárea (USD/ha), mientras que los productores de zona Litoral fueron asignados con *Eucalyptus dunnii* y un valor de la tierra de 3.810 USD/ha y los productores de zona Este con *Eucalyptus globulus* y un valor de la tierra de 2.783 USD/ha. En el caso del precio de la tierra se utilizó un promedio por departamento al año 2020 de las series publicadas por la División de Estadística Agropecuaria del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca que ofrece el valor de las transacciones de compraventa (División de Estadística Agropecuaria del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca [DIEA-MGAP], 2020a) y arrendamiento de tierras por departamento (DIEA-MGAP, 2020b). Las especies seleccionadas por región corresponden a la especie dominante de la zona según la Cartografía Forestal Nacional (DGF-MGAP, 2018) que tiene como destino industrial la pulpa de celulosa.

El volumen de madera teórico se calculó en base al IMA publicado en los reportes anuales que realizan tanto UPM como Montes del Plata (UPM, 2019; Montes del Plata, 2019). El IMA se asignó aleatoriamente de acuerdo con la especie, con tres valores idénticamente posibles (máximo, mínimo y promedio) según se detalla en tabla 2.

Tabla 2. Valores utilizados para la simulación de la oferta de madera rolliza

Valor promedio de la Tierra (USD/ha)	Norte (Cerro Largo, Tacuarembó, Rivera)	2.468
	Litoral/Centro (San José, Colonia, Canelones, Durazno, Flores, Florida, Paysandú, Río Negro, Soriano)	3.810
	Sur/Este (Rocha, Maldonado, Lavalleja, Treinta y Tres)	2.783
Especies e Incremento Medio Anual (m3/ha/año)	<i>Eucalyptus grandis</i> en zona norte	26; 29; 34
	<i>Eucalyptus dunnii</i> en zona centro y litoral	20; 25; 28
	<i>Eucalyptus globulus</i> en zona este y sur	15; 18; 22

Fuente: Elaborado a partir de DIEA-MGAP (2020a; 2020b); UPM (2019) y Montes del Plata (2019).

Dado que, Cubbage et al. (2020) encuentran que para inversiones forestales de madera para pulpa en Uruguay, sin tener en cuenta la tierra, la inflación, ni los costos administrativos, la tasa interna de retorno (TIR) se ubica entre 10.4% y 13.2%; y que, al incorporar el valor de la tierra, estiman como un valor probable para la TIR el 8%; para el costo de oportunidad del capital utilizado en las simulaciones, considerando el valor de la tierra y los costos administrativos, se utiliza un valor conservador (3%), un valor medio (5%) y un valor superior (8%) que podrían representar los intereses de los productores de madera nacionales. En la simulación, esta asignación se realizó de forma aleatoria con idéntica probabilidad de ser asignado.

Para cada productor se simuló un flujo de caja de acuerdo con los costos de plantación, mantenimiento, administración e inventarios en un espacio temporal de 10 años detallados en la tabla 3. Los datos de preparación de la tierra, plantación y mantenimiento, así como la caminería y la cosecha son extraídos de la encuesta realizada anualmente por la Dirección General Forestal (DGF-MGAP, 2020b) del MGAP a los Contratistas de Servicios Forestales, correspondiendo en este caso con los datos 2020. Mientras que los datos de insumos utilizados para las actividades se consultaron telefónicamente a proveedores en marzo del 2021, y el precio de los plantines se extrajeron de la encuesta Viveros Forestales 2020 (DGF-MGAP, 2020c).

Tabla 3. Costos del negocio forestal considerados en el flujo de caja

Costos	USD/ha
Plantación de <i>E. grandis</i> (en área efectiva)	832
Plantación de <i>E. dunnii</i> y de <i>E. globulus</i> (en área efectiva)	845
Mantenimiento de la plantación (en área efectiva)	158
Administración (en área afectada)	45,16
Inventario Forestal (en área efectiva)	5

Nota: Los costos de plantación corresponden a la inversión inicial. Los costos de mantenimiento de plantación en año 1 y 2. Los costos de administración son anuales del 1 al 10 e Inventario en el año 9.

Fuente: Elaborado a partir de DGF-MGAP (2020b y 2020c).

A partir del flujo de caja, se encontró el precio mínimo que satisface que el VAN sea igual a cero para cada productor. Es decir, el precio mínimo para que cubre todos los costos del productor, inclusive su costo de oportunidad del capital.

Por último, se asignó a cada productor una distancia aleatoria a cada una de las industrias de forma independiente. La asignación se realizó de acuerdo a una función de probabilidades normal que asume la media de cada combinación región-industria (tabla 4) y un desvío estándar de 10 km, datos que se elaboraron a partir de Souto et al (2018).

Tabla 4. Distancia media productor-industria según zona

Industria	Distancia media zona norte (km)	Distancia media zona litoral/centro (km)	Distancia media zona este (km)
UPM	434	169	500
Montes del Plata	330	232	395

Elaborado a partir de Souto et al (2018).

3.4 La optimización por parte de la industria

Cada industria observa las cantidades que ofrece cada productor y el precio mínimo que estos están dispuestos a aceptar por su madera. La industria debe decidir a qué productor le compra, a qué precio en la planta (m) y que porcentaje asume como propios de los costos logísticos y de transporte ($1-\alpha$).

Dada la complejidad en la optimización necesaria para el problema de maximización de beneficios de las industrias, se utilizó el paquete Evolver Industrial incluido en el Software Decision Tools de Palisade. Este software, genera un número de soluciones de prueba y utiliza algoritmos genéticos, OptQuest y/o programación lineal para mejorar continuamente los resultados de cada prueba hasta llegar al óptimo.

Dado el tiempo computacional que conlleva la optimización, se optó por seleccionar una muestra aleatoria de 100 productores de la población de 900 productores simulada. Esta muestra, por lo tanto,

representa la oferta a la que se enfrentan las industrias al momento de comprar madera y maximizar sus beneficios.

Para los datos requeridos para el problema de optimización de las industrias (ecuación 7), se utilizaron los Estados Financieros desde 2017 al 2020 de las empresas UPM y Montes del Plata. De ellos se extrajo el costo variable de producción, calculándose el costo variable medio a partir de la cantidad de madera en rollo que entra a las respectivas plantas industriales. El Costo Variable Medio se utilizó como proxy del Costo Marginal (Olive, 2002), al no contar con una función de costos ni datos suficientes para realizar otro tipo de estimaciones.

Para la cantidad de madera rolliza que consumen las industrias, así como también los precios pagos por la madera colocada en las plantas productoras de pulpa de celulosa, se utilizaron de referencia los datos publicados por Dirección Nacional de Aduana, obtenidos a través de Datamyne, para la madera rolliza de *Eucalyptus sp.* que tiene por destino las Zonas Francas (Punta Pereira y Fray Bentos) desde el año 2017 hasta el año 2020. En ese sentido, esta información se utilizó para restringir la optimización y como punto de partida de actuación de los algoritmos, tal que:

- 1) Se considera que, del consumo total de madera que realizan las industrias, una tercera parte proviene de bosques de terceros (de los productores simulados) por lo que: el consumo de madera rolliza por industria se ubica entre 3 y 3,5 millones de metros cúbicos por año;
- 2) Se parte de un precio en planta de 70 dólares por metro cúbico (USD/m³) para la madera proveniente del este, de 60 USD/m³ para la madera proveniente del norte y de 54 USD/m³ para la madera proveniente de la región litoral y centro.

Para los costos de transporte, carga y descarga se utilizaron de referencia los Precios de Referencia (2018) publicados por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas y del trabajo realizado por Souto et al. (2018), mientras que para los costos de cosecha se utilizaron los publicados por la Dirección General Forestal (DGF-MGAP, 2020b); valorando, por lo tanto, el costo de transporte en 0,1344 USD/km/m³, el costo de carga y descarga en 1,76 USD/m³, y el costo de cosecha en 14 USD/m³.

El precio de la celulosa utilizado proviene del promedio anual de los informes cuatrimestrales de exportaciones del año 2020 realizados por la Dirección General Forestal, situándose este en 450 USD por tonelada de celulosa (DGF-MGAP, 2020d; DGF-MGAP, 2021).

Por lo que las ecuaciones a maximizar son las siguientes:

Para Montes del Plata:

$$\max_{\alpha, m} \sum_{j=0}^n \left[51 - (m_j - \alpha_j(0,1344 r_j + 15,76)) - \frac{0,1344}{51} r_j \right] Q_j$$

s.a:

$$0 \leq \alpha_j \leq 1$$

$$3.000.000 \leq \sum_{j=0}^n Q_j \leq 3.500.000$$

Para UPM:

$$\max_{\alpha, m} \sum_{j=0}^n \left[86 - (m_j - \alpha_j(0,1344 r_j + 15,76)) - \frac{0,1344}{86} r_j \right] Q_j$$

s.a:

$$0 \leq \alpha_j \leq 1$$

$$3.000.000 \leq \sum_{j=0}^n Q_j \leq 3.500.000$$

Por otra parte, sólo se computa el beneficio atribuible al productor j, si el precio local ofrecido en la ubicación de j es mayor o igual al precio mínimo que satisface que el VAN sea igual a cero para el productor j.

4. Resultados

4.1 Características de la oferta

De la simulación de la oferta, se llegó a un total de 900 productores distribuidos de la siguiente forma: 292 en el Este, 305 en el Litoral y 303 en la zona Norte. Los valores de las variables para el total de la población simulada se muestran en la tabla 5. El productor promedio presenta una superficie productiva efectiva de 160 ha, con un valor de la tierra de 3.025 USD/ha, una tasa de interés (COC) del 5% y un bosque con un rendimiento de 24 m³/ha/año. Esto significa que la oferta de madera promedio es de 38.829 m³, con un precio mínimo de venta en pie exigido por el productor de 28 USD/m³ y está ubicada a 318 km de Montes del Plata y a 366 km de UPM.

Tabla 5. Estadísticas descriptivas de la población simulada

Variable	Mediana	Media	Mínimo	Máximo
Superficie efectiva (ha)	138	160	28	515
COC	0,05	0,05	0,03	0,08
Tierra (USD/ha)	2.783	3.025	2.468	3.810
IMA (m ³ /ha/año)	25	24	15	34
Volumen (m ³)	30.360	38.829	4.200	175.100
Precio mínimo (USD/m ³)	27	28	11	58
Distancia a MDP (km)	330	318	200	424
Distancia a UPM (km)	435	366	140	533

Fuente: Elaboración propia.

Particularmente, para la muestra de 100 productores utilizada para la optimización, se encuentra que el productor promedio (tabla 6) presenta una superficie productiva efectiva de 149 ha, con un valor de la tierra de 3.050 USD/ha, una tasa de interés del 5% y un bosque con un rendimiento de 25 m³/ha/año. Esto significa una oferta de madera promedio de 36.666 m³ con un precio mínimo aceptado de venta en pie de 28 USD/m³. El productor promedio está ubicado a 311 km de Montes del Plata y a 353 km de UPM.

Tabla 6. Estadísticas descriptivas de la muestra de la optimización

Variable	Mediana	Media	Mínimo	Máximo
Superficie efectiva (ha)	138	149	28	515
COC	0,05	0,05	0,3	0,8
Tierra (USD/ha)	2.783	3.050	2.468	3.810
IMA (m ³ /ha/año)	25	25	15	34
Volumen (m ³)	32.550	36.666	4.200	149.350
Precio mínimo (USD/m ³)	27	28	11	58
Distancia a MDP (Km)	331	311	200	420
Distancia a UPM (Km)	430	353	151	515

Fuente: Elaboración propia.

Si se comparan los datos de las tablas 5 y 6, se encuentra que para la mayor parte de las variables se coincide en el valor de la mediana, de lo contrario se encuentran valores muy cercanos, no existiendo grandes diferencias entre la muestra tomada y la población originalmente simulada.

El precio mínimo al cual los productores están dispuestos a vender su madera depende de las condiciones productivas y comportamentales simuladas. El precio mínimo en pie (11 USD/m³) observado tanto en la población de 900 productores (tabla 5) como en la muestra de 100 productores (tabla 6), corresponde a un productor ubicado en la zona Norte. Este productor se caracteriza por tener un costo de oportunidad del capital de 3%, utilizar la especie *E. grandis*, la cual presenta un rendimiento de madera de 34 m³/ha/año. En el otro extremo se encuentra un productor que para vender su madera en pie solicita al menos un precio de 58 USD/m³. Este productor se caracteriza por ubicarse en la zona Este, utilizando para la producción *E. globulus* con un rendimiento de 15 m³/ha/año y presentar un costo de oportunidad del capital del 8%.

De lo anterior se resume que el costo de oportunidad del capital y el rendimiento productivo son dos factores que afectan el precio mínimo que están dispuestos a aceptar los productores. Cuanto mayor sea el costo de oportunidad de capital, el mismo exigirá un mayor precio de venta en pie. A su vez, a igualdad de costos de oportunidad y situación productiva, mientras menor sea el rendimiento productivo en madera, también se exigirá un mayor precio de venta. Esto se debe a que es preciso cubrir los costos con un menor volumen de producción.

La particularidad de la zonificación en la simulación, por lo tanto, hace que los productores con un costo de oportunidad del capital del 8%, ubicados en la zona Este a los que se le adjudicó *E. globulus*, especie que presenta menores crecimientos en relación con las otras especies, sean los productores más exigentes en cuanto a precio demandado.

Por otra parte, la oferta de madera en pie (de la muestra de 100 productores) que encuentran las industrias en cada radio de distancia se puede apreciar en la tabla 7. En esta se observa una distribución espacial de la madera disponible diferente para ambas industrias. El 77% de la oferta de madera disponible para Montes del Plata se concentra entre los 200 y los 350 kilómetros, mientras que para UPM se concentra el 76% entre los 150 y los 450 kilómetros.

Tabla 7. Precio y volumen de madera disponible para cada industria según radio de distancia

Distancia (km)	Precio mínimo* (USD/m ³)	Volumen (m ³) para MDP	% Acumulado para MDP	Precio mínimo* (USD/m ³)	Volumen (m ³) para UPM	% Acumulado UPM
0-50						
50-100						
100-150						
150-200				27	1.185.750	32%
200-250	27	1.198.250	33%	27	34.500	33%
250-300	27	22.000	33%			
300-350	18	1.598.990	77%			
350-400	38	540.650	92%			
400-450	32	306.750	100%	18	1.552.070	76%
450-500				27	351.890	85%
500-550				38	542.430	100%
Total		3.666.640			3.666.640	

*Mediana del precio mínimo que están dispuestos a aceptar los productores para vender su madera.

Fuente: Elaboración propia.

Además, UPM se enfrenta a una distribución bimodal de la oferta de madera, siendo que no presenta oferta entre los 250 y los 400 kilómetros de distancia a la planta, y concentra una tercera parte de la oferta entre los 150 y los 250 kilómetros.

En cuanto a los precios mínimos que al menos deben pagar para que los productores estén dispuestos a venderle la madera, estos se reparten de forma similar entre las industrias en relación con el volumen disponible. Esto quiere decir que, en el tercio de volumen disponible más cercano a la industria, al menos deben de pagar en promedio 27 USD/m³ en pie. Sin embargo, este primer tercio no significa lo mismo para ambas industrias. La ubicación de los productores influye en los costos de transporte. Si bien ambas industrias en promedio deben al menos pagar 27 USD/m³ para abastecerse de 1,2 millones de metros cúbicos de madera, a esto se le debe descontar el costo de transporte que varía con la distancia, por lo tanto, el costo para este primer tercio de volumen será mayor para Montes del Plata que para UPM.

Por el contrario, en el segundo tercio de volumen, Montes del Plata encuentra mayor cantidad de madera a menos de 350 km de distancia a la industria, mientras que UPM la encuentra en el rango de 400 a 450 km. Nuevamente, si bien ese volumen de madera lo encuentran en promedio a igual precio (18 USD/m³), los costos de transporte serán mayores en el caso de UPM, siendo más caro el abastecimiento con relación a Montes del Plata.

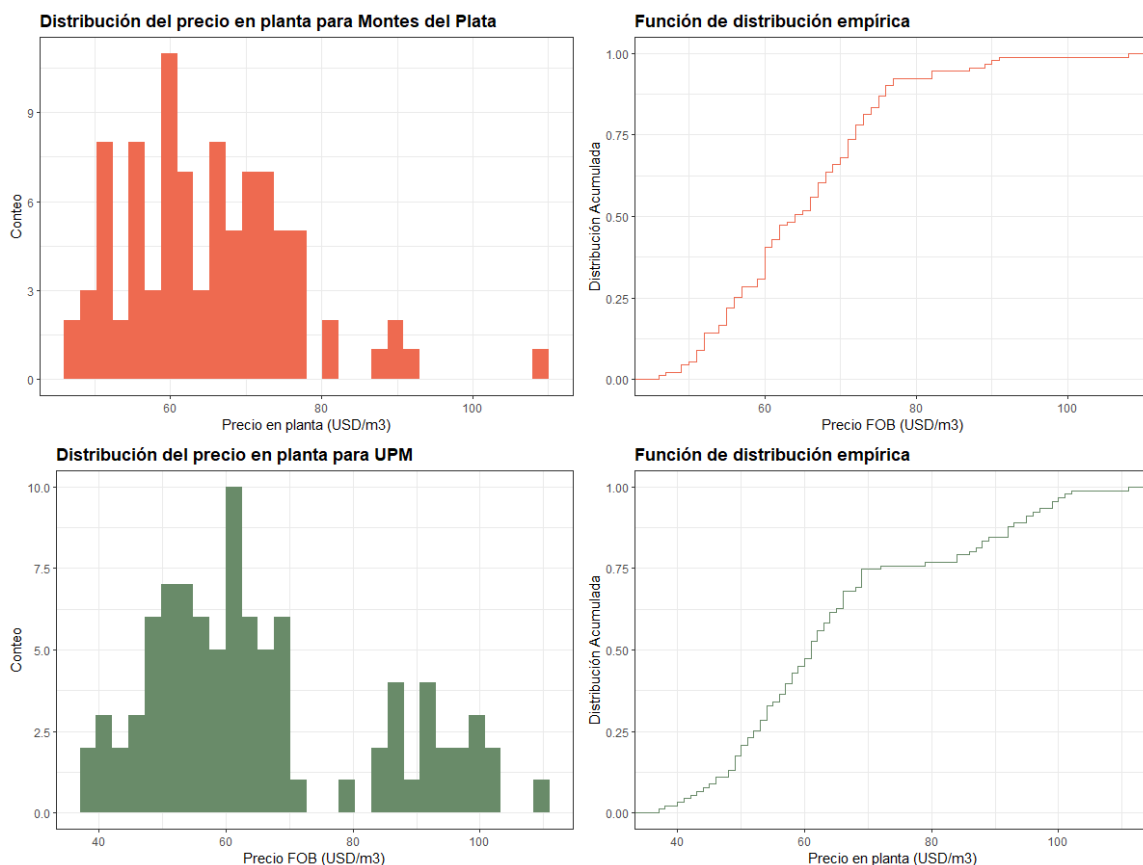
4.2 Resultados de la Optimización

La optimización para Montes del Plata llevó un tiempo computacional de 42:25 horas, con un total de 2.225.735 pruebas. Mientras que la optimización para UPM llevo un tiempo computacional de 37:54 horas, con un total de 1.721.815 pruebas.

Estrategias de las industrias

En cuanto al precio en planta (m) se encontró que en el caso de Montes del Plata el 90% de las observaciones se encontraron comprendidas entre 51 y 85 USD/m³ con una mediana de 64 USD/m³, mientras que para UPM el 90% de las observaciones se encontraron comprendidas entre 43 y 99 USD/m³ con una mediana de 61 USD/m³.

Figura 1. Distribución y función de distribución del precio en planta resultante de la maximización



Fuente: Elaboración propia.

Al realizar un análisis a través del Criterio de Información de Akaike (AIC) y del Criterio de Información Bayesiano (BIC) para definir el modelo de densidad que mejor se ajustara a los datos, se probó con 10 funciones de distribución con dominio $(0, +\infty)$, encontrándose que la distribución Gamma Inversa es la que mejor se ajusta a la distribución de los precios en planta de Montes del Plata y de UPM (tabla 8).

Tabla 8. Análisis de AIC y BIC para funciones de distribución para precio en planta

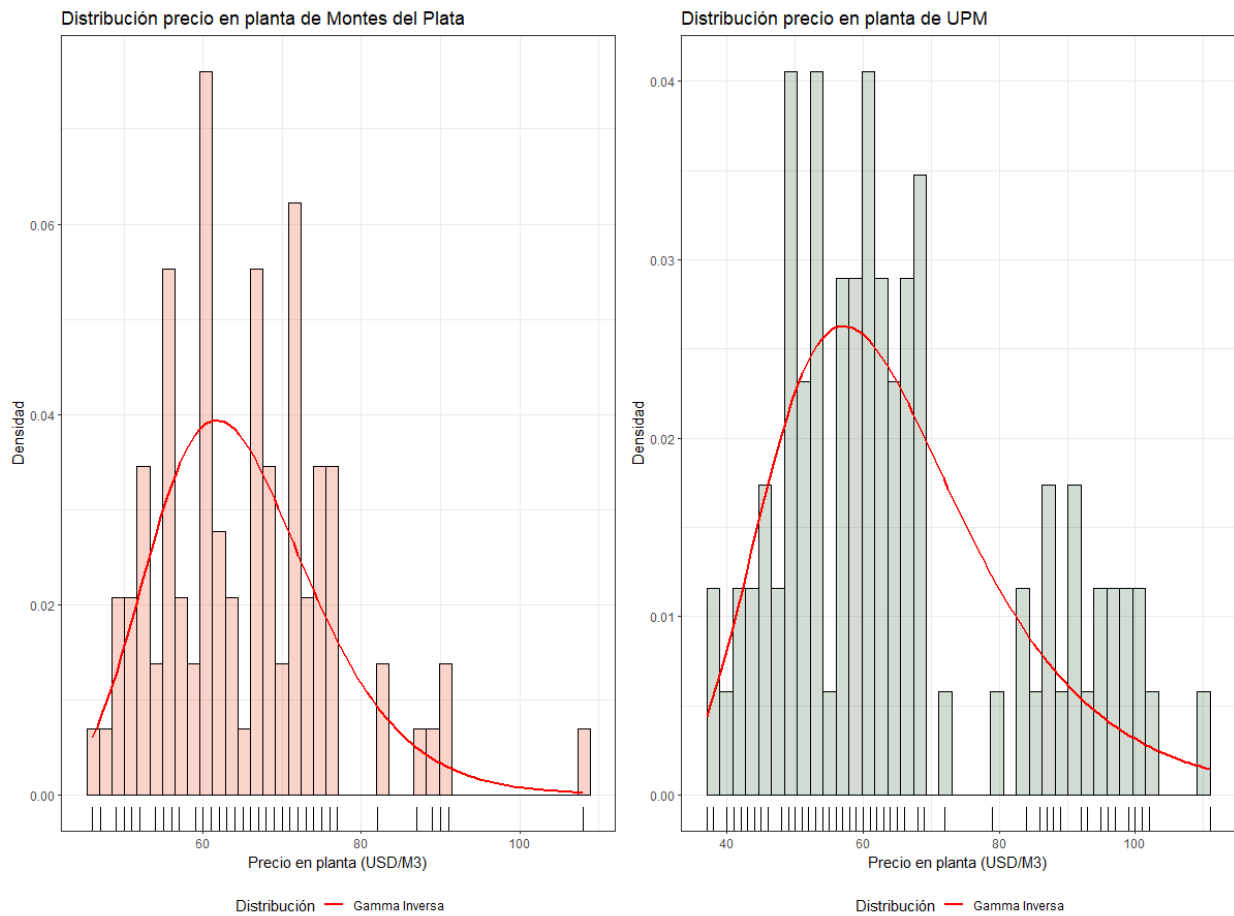
Distribución	Grados de libertad	AIC MDP	BIC MDP	AIC UPM	BIC UPM
Gamma Inversa	2	688.7582	693.7799	770.1826	775.2043
Beta Prima	2	688.7855	693.8073	770.2316	775.2534
Gaussiana Inversa	2	689.9673	694.9890	771.6368	776.6585
Log-normal	2	689.9726	694.9943	772.0541	777.0759
Gamma	2	691.9938	697.0155	775.2117	780.2334
Log-logística	2	692.1308	697.1526	776.2564	781.2781
Weibull Inversa	2	693.0335	698.0552	772.4770	777.4987
Weibull	2	714.4135	719.4352	789.1164	794.1381
Rayleigh	1	825.3386	827.8494	837.5527	840.0636
Exponencial	1	943.8923	946.4031	944.2915	946.8023

Fuente: Elaboración propia.

Por lo que con la función de distribución ajustada a una distribución Gamma Inversa (figura 2), la mediana del precio en planta es de 64 USD/m³ en el caso de Montes del Plata, concentrándose el 95% de los valores posibles entre 47 USD/m³ y 89 USD/m³. Mientras que para UPM la mediana del precio en planta es de 62 USD/m³, concentrándose el 95% de los valores posibles entre 39 USD/m³ y 108 USD/m³.

Si bien las medianas obtenidas para cada industria son cercanas, la diferencia en los valores de cola podría deberse a la distribución espacial de la oferta de madera que enfrentan cada una. En el caso de Montes del Plata, la oferta de madera disponible se concentra entre los 200 y los 420 km y se observa un rango de precios ofrecidos en planta de 46 a 108 USD/m³. Mientras que el rango para UPM es mayor en ambas variables. Para UPM la oferta de madera se distribuye en el rango de los 151 y los 515 km de distancia a planta y los precios en planta ofrecidos por la empresa se encuentra entre 37 a 111 USD/m³ (Figura 2).

Figura 2. Función de distribución ajustada para el precio en planta



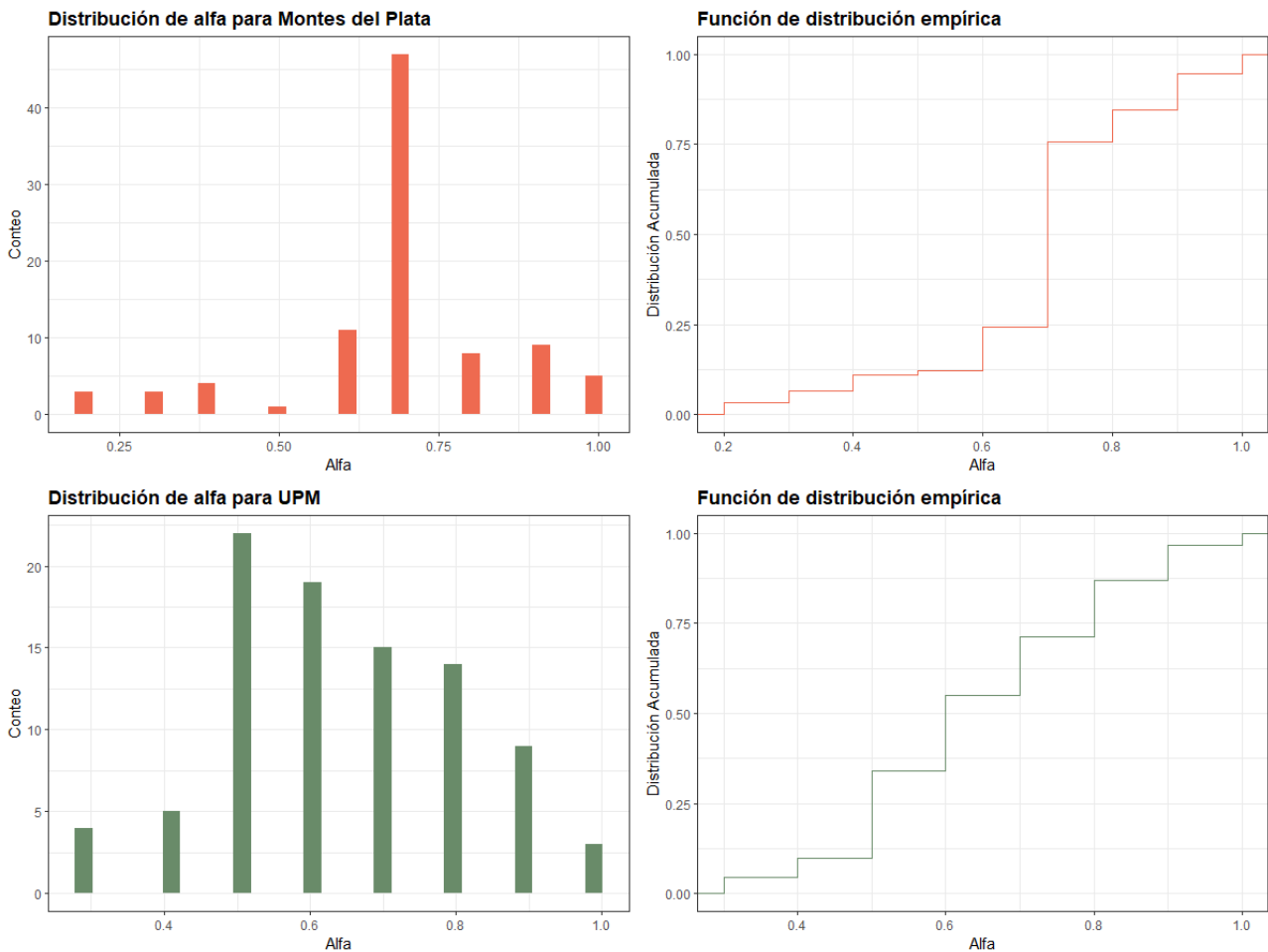
Montes del Plata			
Parámetros	Estimador	5%	95%
Alfa	38,28	31,04	49,13
Beta	2.424,98	1.959,35	3.107,63

UPM			
Parámetros	Estimador	5%	95%
Alfa	15,26	12,29	19,69
Beta	929,18	747,07	1.210,37

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, con relación al parámetro de discriminación alfa, se encontró que en el caso de Montes del Plata el 90% de las observaciones se encontraron comprendidas entre 0,3 y 1 con una mediana de 0,7, mientras que para UPM el 90% de las observaciones se encontraron comprendidas entre 0,4 y 0,9 con una mediana de 0,6 (figura 3). Esto significa, que existe muy baja probabilidad de que las estrategias de precios tomadas por las industrias sea FOB (valor de 0), siendo que la mayor probabilidad se encuentra entre una estrategia de precios con absorción de costos de transporte y costos logísticos, sin llegar a ser una estrategia de precios uniforme (absorción de la totalidad de los costos).

Figura 3. Distribución y función de distribución de alfa resultante de la maximización



Fuente: Elaboración propia.

Para definir el modelo de densidad que mejor se ajusta a los datos, se realizó el análisis a través del AIC y del BIC probándose con 4 funciones de distribución con dominio en los reales y de $[0, +\infty)$, encontrándose que la distribución de Normal es la que mejor se ajusta a los valores alfa de Montes del Plata y la distribución Uniforme la que mejor se ajusta a los valores de alfa de UPM¹⁴ (tabla 9).

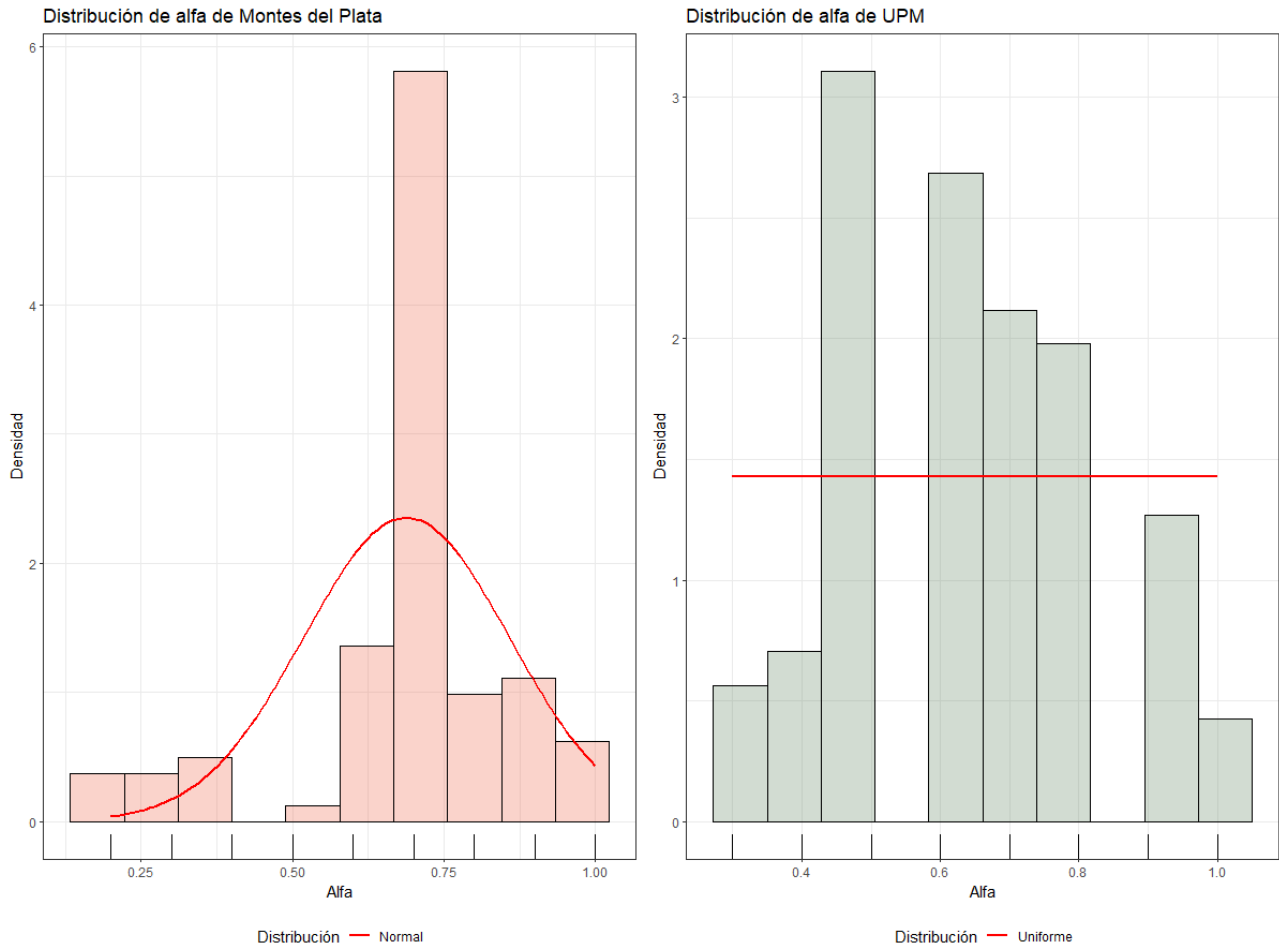
Tabla 9. Análisis de AIC y BIC para funciones de distribución para alfa

Distribución	Grados de libertad	AIC MDP	BIC MDP	AIC UPM	BIC UPM
Normal	2	-60,70712	-55,68540	-60,54675	-55,52503
Ley Potencial	2	-49,17403	-44,15231	-34,73774	-29,71602
Uniforme	2	-36,61213	-31,59041	-60,91484	-55,89312
Exponencial	1	115,91485	118,42571	103,27506	105,78592

Fuente: Elaboración propia.

¹⁴ Si bien la distribución uniforme es la que mejor se ajusta según el criterio de selección de estos indicadores, se debe señalar que el valor para la distribución normal presenta una diferencia muy pequeña con relación a esta, pudiendo ser una distribución adecuada. Si este fuera el caso, los valores de alfa se distribuirían según una media de 0,64 y un desvío de 0,17.

Figura 4. Función de distribución ajustada para alfa



Montes del Plata			
Parámetros	Estimador	5%	95%
Media	0,69	0,66	0,72
Desvío	0,17	0,15	0,19

UPM			
Parámetros	Estimador	5%	95%
Min	0,3	0,3	0,32
Max	1	0,98	1

Fuente: Elaboración propia.

Para Montes del Plata, dada la distribución Normal (figura 4), la mediana para la variable alfa es 0,69; concentrando el 95% de los valores probables entre 0,22 y 1,00. Para UPM, dada la distribución uniforme (figura 4), todos los valores son equiprobables entre 0,3 y 1, por lo que la mediana se sitúa en 0,65.

Dado estos resultados, Montes del Plata seleccionaría con una probabilidad del 95% un grado de discriminación espacial que se ubique entre 0 y 0,78, siendo en promedio de 0,31. Esta estrategia de discriminación de precios, por lo tanto, presenta absorción de costos logísticos y de transporte. Esto significa que Montes del Plata no transferiría a cada productor el total de los costos de transporte, cosecha y logística de acuerdo con su ubicación, sino que absorbería parte de los costos en los casos que le conviniese y los transferiría en otros, existiendo discriminación de precios por ubicación.

En el caso de UPM es equiprobable la elección de cualquier estrategia de discriminación entre 0 y 0,7. En promedio optaría por una discriminación de 0,35, siendo la discriminación de precios óptima y sujeta a cada ubicación. Es decir, como en el caso de Montes del Plata, UPM establecería el precio local de cada productor de forma óptima de acuerdo con la ubicación de cada productor, decidiendo en qué momento absorber los costos de transporte y logísticos y en qué momento transferirlos.

Las diferencias encontradas en las distribuciones de probabilidad entre Montes del Plata y UPM pueden deberse a los costos marginales de cada empresa, que afectan la competitividad espacial de cada una, y a la oferta que enfrentan a igual distancia. Como se mencionó anteriormente, UPM enfrenta una oferta con una distribución bimodal, concentrando dos tercios de la oferta en distancias mayores a 400 km, mientras que Montes del Plata concentra dos tercios de la oferta en distancias menores a 350 km. Estas diferencias hacen suponer que cuando la mayor parte de la oferta se ubica en distancias lejanas a la industria, la estrategia de precios elegida para la maximización de beneficios considera la ubicación de cada productor absorbiendo en mayor medida los costos de transporte de los productores lejanos, para que esta forma estos costos no impidan el acceso al volumen mínimo de abastecimiento.

En este sentido, si bien como se mencionó anteriormente la distribución del precio mínimo que deben pagar en pie al productor en cuanto al volumen disponible es similar (tabla 7), el hecho de que para UPM la madera disponible se concentre más alejada a la industria, hace que resulte más caro para ella el abastecimiento cuando debe considerar el precio mínimo y los costos de transporte, por lo que esta diferencia se ve representada en la amplitud de precios en planta que la empresa está dispuesta a ofrecerle a los productores y en un grado de discriminación levemente mayor en comparación a Montes del Plata. Esto indica que el sentido de la estrategia es el mismo, difiriendo en magnitud y probabilidad de ocurrencia.

Como se mencionó anteriormente, cualquier estrategia de precios que no sea FOB, es decir, un grado de discriminación igual a cero ($\alpha=1$), significa una desventaja para los productores que se encuentren más cercanos a la planta, debido a que con una estrategia FOB podrían acceder a un mejor precio local dado un menor costo de flete.

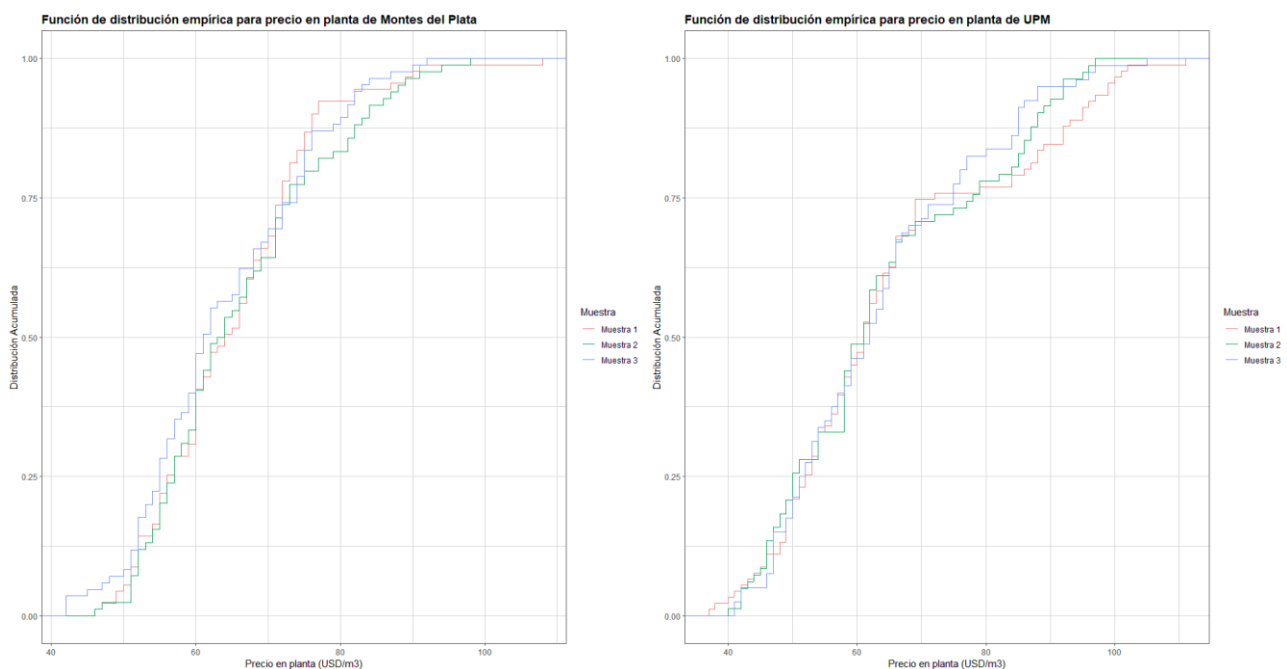
Nuevamente, considerando la distribución espacial de la madera disponible que enfrenta UPM, una posible interpretación para estos resultados es que, en el afán de abastecerse de madera de locaciones más alejadas a la industria (lo que resulta más costoso), la misma necesita discriminar el precio ofertado entre los productores en base a su localización, para de esta forma lograr pagar los precios requeridos por los productores que se encuentran más alejados y que el costo de transporte no impliquen un impedimento en el abastecimiento.

Por lo que, sujetos a los supuestos realizados para este trabajo, los resultados obtenidos indican que existe una gran influencia de la distribución espacial de la oferta de madera en las estrategias de precios que adoptan las industrias.

4.3 Robustez de los resultados

Para comprobar la consistencia de los resultados se tomaron dos muestras aleatorias de 100 productores más cada una, encontrando que para las muestras de Montes del Plata los productores de obtuvieron precios en planta entre 46 y 98 USD/m³ en la segunda muestra, con una mediana de 64 USD/m³; mientras que para la tercera muestra se encuentran entre 42 y 92 USD/m³ con una mediana de 61 USD/m³ (Figura 5).

Figura 5. Función de distribución empírica del precio en planta según muestras y empresas

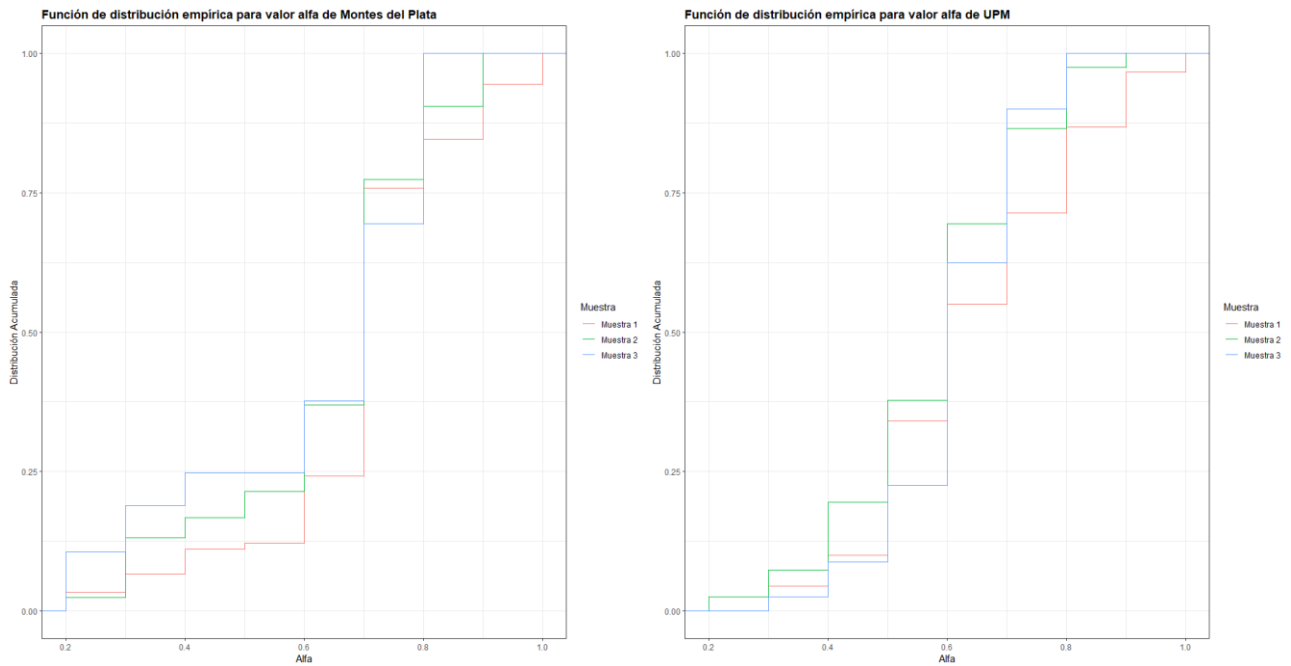


Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de UPM, la segunda muestra de productores obtuvo precios en planta entre 40 y 97 USD/m³, con una mediana de 61 USD/m³; mientras que para la tercera muestra se encuentran entre 41 y 105 USD/m³, con una mediana de 62 USD/m³ (Figura 5).

En cuanto a los valores de alfa, la segunda muestra de MDP dio valores entre 0,2 y 0,9, con una mediana de 0,6; mientras que a tercera muestra se encontró entre 0,2 y 0,8 con una mediana de 0,6. Los valores de alfa para la segunda muestra de UPM se encuentran entre 0,2 y 0,9, con una mediana de 0,6. Los de la tercera muestra entre 0,3 y 0,8 con una mediana de 0,6 (Figura 6).

Figura 6. Función de distribución empírica del valor de alfa según muestras y empresas



Fuente: Elaboración propia.

Para comprobar que las muestras provienen de una misma distribución, se llevó a cabo un contraste de Kolmogorov–Smirnov (tabla 10 y 11), que permite determinar si dos variables se distribuyen de forma diferente al comparar la distancia vertical máxima entre las funciones de distribución acumulada empíricas de dos muestras; siendo sensible a diferencias tanto en localización como en forma de la función de distribución acumulada. La hipótesis nula de esta prueba es que las muestras pertenecen a una misma distribución.

Tabla 10. Test Kolmogorov-Smirnov: comparación de distribución del precio en planta entre muestras

	Montes del Plata		UPM	
	Distancia K-S	p-valor	Distancia K-S	p-valor
1 vs 2	0,10348	0,7378	0,084294	0,9192
1 vs 3	0,092308	0,8481	0,1228	0,5421
2 vs 3	0,079972	0,9498	0,083232	0,9418

Fuente: Elaboración propia.

Dadas las pruebas (tabla 10), en ninguno de los casos es posible rechazar la hipótesis nula de que las muestras pertenecen a una misma distribución con un 95% de confianza. Por lo que, tanto para Montes del Plata como para UPM, los valores de precio en planta de las distintas muestras pertenecerían a una misma distribución.

Tabla 11. Test Kolmogorov-Smirnov: comparación de distribución del valor alfa entre muestras

	Montes del Plata		UPM	
	Distancia K-S	p-valor	Distancia K-S	p-valor
1 vs 2	0,32234	0,0002285	0,1907	0,0868
1 vs 3	0,39741	1,871e-06	0,27363	0,003407
2 vs 3	0,095238	0,8381	0,15305	0,299

Fuente: Elaboración propia.

Para los valores de alfa (tabla 11), las pruebas indican que las muestras 2 y 3 difieren de la muestra 1 en el caso de Montes del Plata, por lo que provendrían de distinta distribución, sin embargo, entre las muestras 2 y 3 no existe una distancia vertical máxima entre las funciones de distribución acumuladas que permitan rechazar la hipótesis nula.

En cuanto a los valores de alfa de las distintas muestras para UPM, las pruebas arrojan resultados ambiguos. No es posible rechazar la hipótesis nula cuando se compara la muestra 1 contra la 2, y tampoco cuando se compara la 2 contra la 3; sin embargo, sí es posible rechazar la hipótesis nula de que las muestras provienen de una misma distribución cuando se comparan la muestra 1 contra la muestra 3.

Dado que las distribuciones podrían ser de todas formas las mismas, y para verificar si existen diferencias entre las medianas obtenidas en cada muestra, es que se realiza la prueba de Mann-Whitney-Wilcoxon en parejas, cuya hipótesis nula es que las medianas de dos muestras consideradas son iguales, y su hipótesis alternativa es que las muestras tienen medianas distintas.

Tabla 12. Test Mann-Whitney-Wilcoxon: comparación de medianas entre muestras.¹⁵

	Muestras	Montes del Plata	UPM
		p-valor	p-valor
Precio en planta	1 vs 2	0,38	1,00
	1 vs 3	0,47	0,05
	2 vs 3	0,06	0,05
Alfa	1 vs 2	0,05	0,35
	1 vs 3	0,004	0,09
	2 vs 3	0,25	0,35

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la prueba (tabla 12) reafirman los resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov (tabla 10), no existiendo diferencias significativas al 95% de confianza entre las muestras para el

¹⁵ El p-valor fue ajustado según el método Benjamini y Yekutieli (2001)

precio en planta, tanto sea para Montes del Plata como para UPM. Por lo que no existirían diferencias significativas en la distribución de las muestras, ni en sus medianas.

Sin embargo, los resultados para los valores de alfa son ambiguos en el caso de Montes del Plata, existiendo diferencias entre medianas al 95% de confianza entre las muestras 1 y 3 (0,7 vs 0,6), sin embargo, no siendo posible rechazar la hipótesis nula cuando se comparan las muestras 1 contra la 2 y la 2 contra la 3.

Por otra parte, en el caso de UPM, no es posible rechazar la hipótesis nula en ninguna de las comparaciones con un 95% de confianza, por lo que no existirían diferencias significativas entre medianas de las distintas muestras para los valores de alfa.

Las diferencias encontradas para Montes del Plata probablemente pueden ser explicadas por la distribución de la oferta de madera en el espacio, difiriendo entre muestras, dado que mientras la primera simulación concentraba el 33% del volumen de madera en un radio menor a 300 km, la tercera muestra concentra a igual radio el 36% del volumen de madera ofertado.

5. Discusión

Los resultados confirman la hipótesis de que el evento más probable al momento de vender la madera en pie a una industria de celulosa en Uruguay no se describe según una estrategia FOB por parte de las industrias. Según los resultados de este trabajo las industrias ajustan el precio ofertado a los productores de acuerdo con su ubicación y distancia relativa a la industria. Estos resultados van en línea con los presentados por Fousekis (2011) y especialmente con los resultados de Graubner, Balmann y Sexton (2011a), encontrando discriminación espacial de precios con absorción de costos de transporte en estructuras de mercado intermedias.

Se infiere de los resultados que la discriminación espacial sería similar entre las industrias con pequeñas diferencias en la magnitud. Tanto Montes del Plata como UPM optarían por una discriminación óptima entre productores según la distancia en la que se encuentren respecto a la industria. Estos resultados demuestran que no aplican una estrategia de precios FOB (orden 0). La discriminación espacial podría ser catalogada como leve, más frecuentemente en el orden de 0.3. Esto significa que las industrias absorberían parte de los costos de cosecha, logísticos y de transporte; siendo poco probable que absorban la totalidad de los costos (estrategia de precios uniforme, orden 1).

Por otra parte, es importante subrayar que el rango de precios en planta más probable resultado de la optimización, coincide con el rango de precios publicado en los últimos informes de Exportaciones de Madera realizados por la Dirección General Forestal (DGF-MGAP, 2021b); sugiriendo en gran medida la verificación de los resultados obtenidos.

Las diferencias encontradas entre industrias en los precios en planta y en la magnitud y probabilidad de discriminación pueden deberse a la distribución espacial de la madera disponible que enfrentan cada una de ellas. Mientras que UPM enfrenta una disponibilidad de madera con una distribución bimodal, con un amplio rango de distancias y una mayor concentración de la oferta en distancias lejanas, Montes del Plata presenta la oferta concentrada más homogéneamente distribuida en un rango menor de distancias. Esto refuerza la idea que estudiar el componente espacial es de importancia, sobre todo para políticas de ordenamiento territorial, ya que pueden afectar los precios que reciben los productores localmente.

Particularmente los resultados obtenidos en este trabajo sugieren que la distribución espacial del recurso es de gran importancia al momento de elegir una estrategia de precios por parte de la industria. Esto implicaría que, si el recurso se encuentra concentrado en un radio de amplitud considerada, la

industria optaría por la discriminación de precios óptima, disminuyendo el beneficio potencial de los productores ubicados más cercanos a la industria, para poder abastecerse también de aquellos más lejanos y que le significan un mayor costo. Estos resultados deben considerarse particularmente, dado que trabajos anteriores no contemplan la heterogeneidad en la distribución del bien, asumiendo en su mayoría que la oferta se distribuye homogéneamente entre las dos industrias (Zhang y Sexton, 2001; Alvarez et al., 2000; Fousekis, 2011 y Graubner et al., 2011a).

Dada la relevancia del sector, estos resultados permiten tener una mejor aproximación a la estructura de mercado de la madera rolliza para pulpa. En este sentido, vale la pena señalar que si bien algunos autores encuentran que estas estrategias permiten la colusión (Espinosa, 1992; Colombo, 2012; Heywood, Li, y Ye, 2020); la discriminación óptima no solamente es beneficiosa para los compradores, sino también para los vendedores dado que esta estrategia maximiza el área de mercado, permitiendo a mayor participación (Holahan 1975, citado por Graubner, Salhofer y Tribl, 2021).

De acuerdo con Cheung y Wang (1996), la estrategia de precios elegida depende de la forma que adopte la función de oferta de los productores; por lo que es importante señalar, que los resultados obtenidos en este trabajo parten de una simulación de oferta, y que, por lo tanto, están sujetos a todos los supuestos y datos utilizados para esta simulación.

Para futuras investigaciones sobre estrategias de precios en el sector forestal uruguayo sería deseable contar con datos empíricos más ajustados y precisos en cuanto a precios locales que reciben los productores, oferta anual de madera disponible con destino celulósico, costos de transporte actualizados anualmente, entre otros.

En cuanto a los actores contemplados en este trabajo, no se tienen en cuenta los intermediarios ni las asociaciones de productores ni los fondos de inversión, ni tampoco la participación del estado. La incorporación de estos actores podría modificar los resultados encontrados en este trabajo. Una de las cuestiones donde más influencia tendrían es en las negociaciones que pueden existir entre estos actores y las industrias; pudiéndose negociar precios diferenciales por especie o volumen como es el caso de la producción de *E. globulus* en el este del país (Morales Olmos et al., 2018). La capacidad de negociación aumenta cuando los volúmenes de compraventa son mayores, pudiendo ganar mayor poder de negociación las agrupaciones de productores, los fondos de inversión y los intermediarios.

Sumado a lo anterior, no se contemplan otros comportamientos que no sean la maximización de beneficios, por ejemplo, comportamientos que podrían variar los costos de oportunidad de los productores no solamente en magnitud sino también intertemporalmente a lo largo de la rotación e influir en las negociaciones. También, la maximización de beneficios podría no ser el objetivo de las

industrias, dado que a medida que las operaciones de las industrias están estables, estas se dedican en mayor medida a la adquisición de madera, por lo que la estrategia de maximización de beneficios en corto plazo pasa a un segundo plano y se establece la estrategia de mantenimiento de producción y consolidación de rentabilidad en el largo plazo (Olofsson, 2018).

Asimismo, el precio que los productores están dispuestos a aceptar por su madera forma parte de las restricciones para la optimización de beneficios de las industrias, y por lo tanto afecta de forma directa las estrategias elegidas. En este trabajo, ese precio está calculado bajo el supuesto de que los productores tienen por objetivo la maximización de beneficios y que a su vez poseen una tasa de interés como costo de oportunidad de capital constante a lo largo del ciclo productivo. Este es un supuesto fuerte y es recomendable que futuros trabajos consideraran flexibilizarlo.

En tal sentido, los productores podrían presentar inconsistencias temporales en su comportamiento, haciendo fluctuar la tasa de interés de referencia anualmente en su negocio, o podrían tener otras actitudes frente al riesgo del negocio forestal que modificaran el precio que están dispuestos a aceptar. Por ejemplo, Gong y Löfgren (2003) encuentran que el comportamiento de los productores de madera no industriales difiere del comportamiento de maximización de beneficios a través del valor presente esperado, encontrando que el costo de oportunidad de invertir en forestación puede ser mayor en un productor neutral al riesgo en comparación a uno adverso, dado que la inversión en forestación es una alternativa atractiva para la diversificación del riesgo. Por lo que, si el costo de oportunidad al que aspira el productor es mayor que al presentado en este trabajo, el precio al cual estará dispuesto a vender su madera es superior y, por lo tanto, afectará las estrategias de precios que opten hacer las industrias.

6. Conclusiones

Este trabajo además de aportar información sobre la oferta de madera rolliza para pulpa en el sector forestal de Uruguay trata de responder a la pregunta de si podría existir discriminación espacial de precios en el mercado de la madera rolliza para pulpa cuando los productores venden en pie. Los resultados encontrados indican que el evento más probable, cuando los objetivos son la maximización de beneficios, es la discriminación espacial de precios. Esto va en línea con trabajos disponibles para la literatura.

Según los resultados obtenidos en este trabajo, se concluye que la discriminación espacial es similar entre las industrias, siendo que tanto Montes del Plata como UPM es más probable que opten por una estrategia de precios que permita la discriminación según la distancia de los productores, y esta sería del orden de 0,3 en una escala donde 0 es una estrategia de precios FOB y 1 es una estrategia de precios Uniforme. Si bien en este trabajo se encontraron unas leves diferencias en magnitud y probabilidad de ocurrencia entre industrias, estas podrían deberse a los costos de producción entre industrias o a la distribución espacial de la oferta que enfrentan.

Los resultados encontrados deberían ser considerados al momento de implementar políticas de ordenamiento territorial en el país que pudieran afectar la distribución del recurso forestal en relación con la ubicación de las industrias. La oferta de madera rolliza no es continua en el tiempo ni en el espacio. Los ciclos productivos y el ordenamiento territorial afectan la disponibilidad de madera. En este sentido, si bien las mejoras genéticas y las innovaciones silviculturales acortan los ciclos productivos favoreciendo la disponibilidad de madera en el tiempo y en el espacio, el potencial estará determinado por el sitio, es decir por su ubicación. Las políticas de ordenamiento territorial, como por ejemplo las directrices departamentales, delimitan las zonas donde se puede producir, afectando la distribución de la oferta en el espacio y condicionando la duración del ciclo productivo indirectamente a través de la productividad de la zona.

En el mismo sentido, es preciso reflexionar cómo impactará el funcionamiento de la segunda planta de UPM en la dinámica de compraventa de madera rolliza de *Eucalyptus sp.* para celulosa. Esta segunda planta, ubicada en el centro del país, tiene un mejor acceso a plantaciones que para la empresa se ubicaban distantes. La distribución bimodal de la oferta de madera simulada en este trabajo para UPM dejará de ser tal, siendo que ahora la empresa podrá acortar distancias de transporte y por ende costos, principalmente con relación a los productores ubicados en zona noreste y este del país (que actualmente son los más lejanos). Estos cambios distributivos, podrían cambiar los resultados

obtenidos en este trabajo, principalmente cambiando la magnitud y probabilidad de ocurrencia de la discriminación espacial que selecciona la empresa en su estrategia de precios.

Por otra parte, las políticas de obras públicas, a través de la construcción de nueva infraestructura vial que permita acortar las distancias podría mejorar los resultados obtenidos en este trabajo dado un menor costo del flete; debiéndose analizar nuevamente.

Sumado a esto, una política pública que debería reforzarse, a la luz de este trabajo, es la guía de carga de transporte terrestre creada en el artículo 271 de la Ley N° 17296 y su decreto reglamentario N° 349 /001, con la modificación de redacción dada por el Decreto N° 366/013 de 12/11/2013 y el Decreto N° 303/015. La exigencia de esta guía y particularmente el mantenimiento de la base de datos digital, permite contar con información de longitud de viaje, origen y destino de la carga y precios del transporte. Estos datos podrían permitir establecer conexiones entre los datos de transporte y el precio en planta ofrecido por las industrias a través de la fecha del viaje y el peso de la carga. Esto podría mejorar las estimaciones realizadas en este trabajo. Conjuntamente, las estadísticas que se pudieran obtener de esta información permitirían un mejor seguimiento por parte del Estado ante una eventual política de control de precios o estudio a favor de la promoción y defensa de la competencia.

Es importante que futuros trabajos ahonden en la temática con mayor cantidad de información empírica. En ese sentido, trabajos que permitan un mejor conocimiento de la estructura de este mercado y, del comportamiento y características de la oferta de madera rolliza, son esenciales para una mejor comprensión de los fenómenos estudiados, pudiendo levantar alguno de los supuestos fuertes que presenta este trabajo.

7. Referencias Bibliográficas

- Alvarez, A. M., Fidalgo, E. G., Sexton, R. J., & Zhang, M. (2000). Oligopsony power with uniform spatial pricing: theory and application to milk processing in Spain. *European Review of Agricultural Economics*, 27(3), 347-364.
- Beckmann, M. J. (1976). Spatial price policies revisited. *The Bell Journal of Economics*, 619-630.
- Boccardo Navarro, A., & Lovazzano Giménez, M. J. (2014). Actualización del complejo forestal en Uruguay.
- Brännlund, R. (1989). The social loss from imperfect competition: The case of the Swedish pulpwood market. *The Scandinavian Journal of Economics*, 689-704.
- Cheung, F. K., & Wang, X. (1996). Mill and uniform pricing a comparison. *Journal of Regional Science*, 36(1), 129-143.
- Colombo, S. (2012). An indifference result concerning collusion in spatial frameworks. *Research in Economics*, 66(1), 18-21.
- Cubbage, F., Kanieski, B., Rubilar, R., Bussoni, A., Olmos, V. M., Balmelli, G., Mac Donagh, P., Lord, R., Hernández, C., Zhang, P., Huang, J., Korhonen, J., Yao, R., Hall, P., Del La Torre, R., Diaz-Balteiro, L., Carrero, O., Monges, E., Thi Thu, H.T., Frey, G., Howard, M., Chavet, M., Mochan, S., Hoeflich, V.A., Chudy, R., Maass, D., Chizmar, S., & Abt, R. (2020). Global timber investments, 2005 to 2017. *Forest Policy and Economics*, 112, 102082.
- Curbelo, I. (2009.). El sector forestal en Uruguay: una mirada desde las relaciones de poder y los conflictos entablados. Tesis de grado. Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Ciencias Sociales.
- Dirección General Forestal, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (2018). Informe de resultados de la Cartografía Forestal Nacional 2018. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/informe-resultados-cartografia-forestal-nacional-2018>
- Dirección General Forestal, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (2020a). Encuesta de Aserraderos 2020. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/politicas-y-gestion/encuesta-aserraderos-2020>

Dirección General Forestal, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (2020b). Encuesta de servicios forestales. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/politicas-y-gestion/segunda-encuesta-servicios-forestales>

Dirección General Forestal, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (2020c). Encuesta de viveros forestales. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/encuesta-viveros-forestales-2020>

Dirección General Forestal, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (2021a). Boletín Estadísticas Forestales 2021.

Dirección General Forestal, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (2021b). Informe cuatrimestral de exportaciones de madera: principales cadenas forestales. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/exportaciones-madera-tercer-cuatrimestre-del-2021>

División de Estadística Agropecuaria, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (2020a). Compraventas 2020. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/noticias/oficina-estadisticas-agropecuarias-diea-presenta-resultados-operaciones>

División de Estadística Agropecuaria, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (2020b). Arrendamientos 2020. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/datos-y-estadisticas/estadisticas/precio-tierra-arrendamientos-2020-oficina-estadisticas-agropecuarias-diea>

Espinosa, M. P. (1992). Delivered Pricing, FOB Pricing, and Collusion in Spatial Markets. *The RAND Journal of Economics*, 23(1), 64.

Exante (2020). Contribución del sector forestal a la economía uruguaya. Sociedad de Productores Forestales.

Fackler, P. L., & Goodwin, B. K. (2001). Spatial price analysis. *Handbook of agricultural economics*, 1, 971-1024.

Faustmann, M. (2018). Calculation of the value which forest land and immature stands possess for forestry. In *Economics of Forestry* (pp. 1-40). Routledge.

Fousekis, P. (2011). Free-on-board and uniform delivery pricing strategies in a mixed duopsony. *European Review of Agricultural Economics*, 38(1), 119-139.

- Gong, P., & Löfgren, K. G. (2003). Risk-aversion and the short-run supply of timber. *Forest Science*, 49(5), 647-656.
- Graubner, M., Balmann, A., & Sexton, R. J. (2011a). Spatial price discrimination in agricultural product procurement markets: a computational economics approach. *American Journal of Agricultural Economics*, 93(4), 949-967.
- Graubner, M., Balmann, A., & Sexton, R. J. (2011b). Spatial Pricing and the Location of Processors in Agricultural Markets. In 2011 International Congress, August 30-September 2, 2011, Zurich, Switzerland (No. 114601). European Association of Agricultural Economists.
- Graubner, M., Koller, I., Salhofer, K., & Balmann, A. (2011c). Cooperative versus non-cooperative spatial competition for milk. *European Review of Agricultural Economics*, 38(1), 99-118.
- Graubner, M., Salhofer, K., & Tribl, C. (2021). A Line in Space: Pricing, Location, and Market Power in Agricultural Product Markets. *Annual Review of Resource Economics*, 13, 85-107.
- Heywood, J. S., Li, D., & Ye, G. (2020). Does price discrimination make collusion less likely? a delivered pricing model. *Journal of Economics*, 131(1), 39-60.
- Johansson, P. O., & Löfgren, K. G. (1985). A bargaining approach to the modeling of the Swedish roundwood market. *Land Economics*, 61(1), 65-75.
- Kallio, A. M. I. (2001). Interdependence of the sawlog, pulpwood and sawmill chip markets: an oligopsony model with an application to Finland. *Silva Fennica*, 35(2), 229-243.
- Kanieski da Silva, B. (2018). Market Imperfection and Competitive Practices in the Forest Sector: From International Trade to Local Timber Prices.
- Kanieski da Silva, B., Cubbage, F. W., González, R., & Abt, R. C. (2019). Assessing market power in the US pulp and paper industry. *Forest Policy and Economics*, 102, 138-150.
- Kuuluvainen, J., Korhonen, J., Wang, L., & Toppinen, A. (2021). Wood market cartel in Finland 1997–2004: Analyzing price effects using the indicator approach. *Forest Policy and Economics*, 124, 102380.
- Löfgren, K. G. (1992). Spatial monopsony and monopoly pricing in a stochastic environment. *Journal of regional science*, 32(2), 155-168.

- Montes del Plata. (2019). Resumen de Gestión Forestal. <https://dzfekky6el5vn.cloudfront.net/Documentos/resumen-publico-2019.pdf>
- Morales Olmos, V., Ansuberro, J., Pintos, M., & Pérez, G. (2018). Panorama empresarial del sector forestal uruguayo productor de *Eucalyptus globulus*. *Agrociencia Uruguay*, 22(1), 133-139.
- Morales Olmos, V., & Siry, J. P. (2009). Economic impact evaluation of Uruguay forest sector development policy. *Journal of Forestry*, 107(2), 63-68.
- MovusTV. (15 de abril de 2021). Debate Nacional - Mesa redonda sobre impactos sociales de la forestación. [Video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=qpBG1M9UzoA&t=1s>
- Murphy, S. (2006). Concentrated market power and agricultural trade. *Ecofair trade dialogue*, Discussion papers, 1.
- Olive, M. (2002). Is Average Variable Cost a Good Proxy for Short-run Marginal Cost and why is it Important? (No. 0208). Macquarie University, Department of Economics.
- Olofsson, E. (2018). An economic study on forest resource competition: How market imperfections and increased competition affect woody feedstock markets (Tesis doctoral, Luleå University of Technology).
- Olofsson, E., & Lundmark, R. (2016). Competition in the Forest Sector: An extensive review. In Swedish Association for Energy Economics (SAEE) conference 2016, Luleå, August 23-24 2016.
- Parajuli, R., & Chang, S. J. (2015). The softwood sawtimber stumpage market in Louisiana: market dynamics, structural break, and vector error correction model. *Forest Science*, 61(5), 904-913.
- Rogers, R. T., & Sexton, R. J. (1994). Assessing the importance of oligopsony power in agricultural markets. *American Journal of Agricultural Economics*, 76(5), 1143-1150.
- Souto, G., Tommasino, H., Errea, E., & Sader, M. (2018). Logística de las cuatro principales cadenas agroindustriales del Uruguay. Nota Técnica del BID. IDB-TN-1558, BID. doi:<http://dx.doi.org/10.18235/0001460>
- Tamosiunas, M. (2013) Complejo Forestal. En Vasallo, M., Carriquiry, M., Hernández, A., Rodríguez, N., Courdin, V., Tamosiunas, M., & Avondet, R. (2013). Dinámica y competencia intrasectorial en el agro. Uruguay 2000-2012. La visión de los actores. CSIC-UdelaR. Uruguay.

Tanco, M., Jurburg, D., Camy, M., Bigatti, F., & Perrone, H. (2018) Caracterización del Sector Transporte de Carga Carretero. Centro de Investigación en Organización Industrial, UM. <https://um.edu.uy/cinoi/proyecto-tcs>

UPM. (2019). Reporte Público. UPM Forestal Oriental.

Uruguay XXI. (2021) Sector Forestal en Uruguay. <https://www.uruguayxxi.gub.uy/uploads/informacion/a29771e03cc49e42fe516c01b0d271dc0fcf4cbe.pdf>

Uruguay XXI. (2022). Sector Forestal en Uruguay. <https://www.uruguayxxi.gub.uy/uploads/informacion/54d7c374d7aac91a7ea7b0d7b48973c687d47084.pdf>

Varian, H. R. (1992). Análisis microeconómico. Antoni Bosch Editor.

Zhang, M., & Sexton, R. J. (2001). FOB or uniform delivered prices: Strategic choice and welfare effects. *The Journal of Industrial Economics*, 49(2), 197-221.