

# EL TRANSPORTE MODAL DE CARGA FLUVIAL: UN ESTUDIO DE LA REACTIVACIÓN DEL RÍO MAGDALENA

GUSTAVO ALBERTO ZAMBRANO\*

## RESUMEN

Este trabajo examina la demanda modal de transporte de carga en el Río Magdalena, para estudiar los efectos que tendrá el proyecto de rehabilitación de la navegabilidad en él. Utilizando información recogida en una encuesta a 30 empresas importadoras y exportadoras en Bogotá, se construyen modelos elección discreta que estiman las probabilidades de utilizar la vía fluvial, así como las elasticidades ante cambios en tarifas de transporte, tiempos de trayecto, confiabilidad y regularidad. Se encuentra que la tarifa, el tiempo, y la confiabilidad del servicio que ofrezca el transporte por el río afectarían la probabilidad de utilizarlo. El modelo de mejor bondad de ajuste predice probabilidades de utilizar el modo fluvial de entre 10,5% y 24,5%, dependiendo de la eficiencia de las variables mencionadas. Los resultados sugieren la necesidad de adelantar inversiones que permitan que el Río Magdalena no solo sea competitivo en costos, sino también en tiempos de viaje y puntualidad.

---

\* El autor es egresado de la Maestría en Economía de la Universidad de los Andes. Correo electrónico: ga.zambrano32@uniandes.edu.co. Agradece al profesor Fernando Carriazo por su asesoría y comentarios, al Centro Interdisciplinario de Estudios sobre el Desarrollo (CIDER) de la Universidad de los Andes por su apoyo logístico en la realización de la encuesta y a Cormagdalena por brindar oportunamente la información solicitada. Sus aportes fueron imprescindibles en la elaboración de esta investigación. Recibido: agosto 11 de 2016; aceptado: diciembre 2 de 2016.

**Palabras clave:** Transporte de carga, elección modal, Río Magdalena

**Clasificaciones JEL:** R41, R42, H54

## ABSTRACT

### *Modal Freight Transportation: A Study of the Reactivation of the Magdalena River, Colombia*

This paper examines the demand for modal freight transportation on the Magdalena River, in order to study the effects that the current project to enhance its navigability. Using data from a survey of 30 import and export companies in Bogota, discrete choice models are used to estimate the probabilities of using the river and the elasticities to changes in freight rates, journey times, reliability and regularity. It is found that the rate, time, and reliability of the transport service offered throughout the River would affect the probability of choosing it. The model with the best goodness of fit predicts a likelihood of using the river between 10,5% and 24,5%, depending on the efficiency of these variables. The results suggest the need for further investments in the Magdalena River, not only to reduce freight rates, but also to reduce journey times and increase punctuality.

**Key words:** Freight transport, modal choice, Magdalena River

**JEL Classifications:** R41, R42, H54

## I. INTRODUCCIÓN

El Río Magdalena es un corredor fluvial estratégico gracias a su privilegiada posición geográfica que permite conectar los principales centros de producción en el centro de Colombia con puertos en la Región Caribe. Sin embargo, durante el siglo xx, la política de transporte de Colombia se concentró en la construcción de la red de carreteras y no prestó atención al desarrollo del Magdalena como vía de transporte. Esta situación tuvo como consecuencia un pronunciado declive del transporte de carga a través del corredor fluvial y la marginalización de su importancia económica.

Desde inicios del presente siglo la visión política sobre el papel del Río Magdalena ha cambiado y paulatinamente se ha fortalecido la opinión que considera que puede llegar a ser una vía relevante en el sistema de transporte de carga del país. En consecuencia, el gobierno ha formulado el Proyecto de Rehabilitación de la Navegabilidad en el Río Magdalena (PRNRM). Este proyecto hace parte de un plan para superar el atraso en que se encuentra Colombia en infraestructura de transporte y también es una estrategia para reactivar el transporte multimodal, con el Río Magdalena como el principal eje de transporte alternativo al modo carretero predominante en el país.

La presente investigación tiene por objeto estimar los principales determinantes de la elección modal para el transporte de carga, entre las opciones de transporte fluvial y carretero, de cara al efecto que tendrá el PRNRM. Con la información recogida en una encuesta a empresas en Bogotá, se construyeron modelos de elección discreta que permiten calcular las elasticidades de la probabilidad de escoger el Río Magdalena como vía de transporte respecto a varias variables de interés, tales como la tarifa del envío, el tiempo de entrega y la confiabilidad. Los resultados buscan asignar un orden de importancia a las diferentes variables tenidas en cuenta en el estudio, para así servir de guía en la toma de decisiones futuras relacionadas con el transporte de carga a través del Magdalena. Se encuentra que la tarifa del servicio y el tiempo de transporte son las variables más relevantes, ya que para ahorros de 40% en la tarifa fluvial o dos días adicionales en el tiempo de entrega por el río, la probabilidad de que una empresa promedio utilice el Río Magdalena alcanza 24,5%. También se sugiere profundizar en el estudio de estos y otros determinantes, puesto que puede generar grandes ganancias de eficiencia en la asignación de recursos de inversión.

El trabajo representa una contribución a la literatura sobre el tema pues desarrolla un modelo que evalúa la importancia relativa de distintas variables que afectan la demanda de transporte de carga. A través del modelo, además, es posible estimar curvas de demanda que pueden utilizarse en evaluaciones costo-beneficio de proyectos de transporte. Los responsables de la política de transporte deben tomar decisiones de inversión teniendo claros los efectos potenciales sobre la oferta y demanda de servicios de transporte. Solo así podrán asignar los recursos de inversión objetivamente y determinar la conveniencia económica y social de distintos proyectos.

El documento está compuesto de cinco secciones. En la primera se describe el estado actual y la historia del Río Magdalena como corredor fluvial. La segunda

contiene una revisión de la literatura sobre métodos de elección discreta aplicados al transporte de carga por vía fluvial. En la tercera sección se explican la metodología y las fuentes de información utilizadas en el modelo econométrico. La cuarta sección contiene los resultados del modelo. Y en la quinta se discuten los hallazgos y las conclusiones.

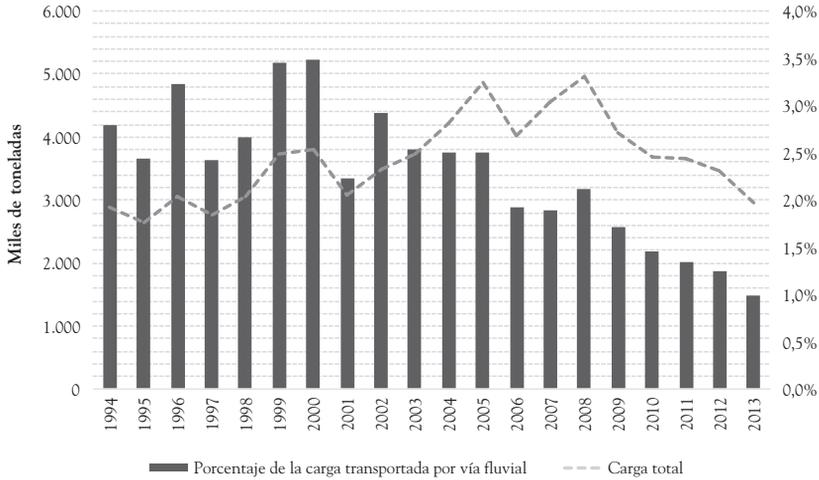
## II. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL RÍO MAGDALENA

El Río Magdalena, principal arteria fluvial de Colombia, concentra el 80% de la movilidad de la carga y de transporte de pasajeros por la vía fluvial en el país. Su posición geográfica lo convierte en una opción para complementar intermodalmente los otros ejes viales del territorio nacional, ya que conecta los principales centros de producción y consumo, como Bogotá, Cundinamarca, Antioquia y el Magdalena Medio, con los puertos de la Región Caribe (Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena – Cormagdalena, 2013).

El transporte de carga fluvial ha tenido una participación de alrededor de 2% en el total de la carga movilizada en el país a lo largo de las últimas dos décadas. Además, el Gráfico 1 muestra que, desde 2002, persiste una tendencia decreciente. La distribución modal del transporte de carga en Colombia se presenta en el Gráfico 2, donde se constata que el modo carretero tiene una participación del 71%, seguido del modo férreo con una participación de 27% y el modo fluvial, que apenas alcanza el 1%. Llama la atención que, en el caso colombiano, las cargas que se movilizan por vías fluviales y férreas solo sean representativas para la industria petrolera en el modo fluvial y la carbonífera en el modo férreo.

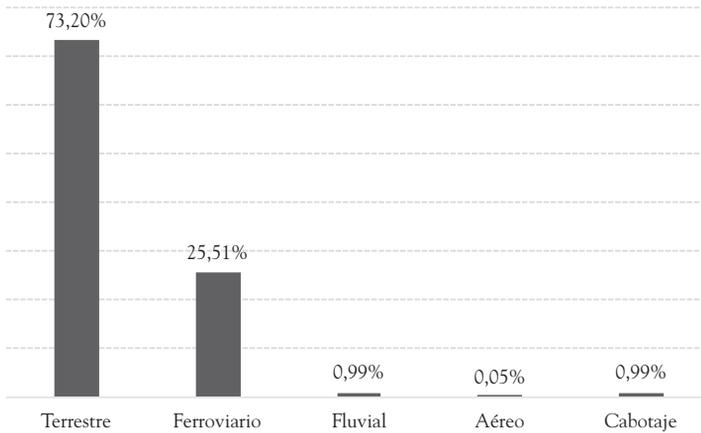
En el Gráfico 3 se muestran los principales productos transportados por el Río Magdalena en 2011. El ACPM, el combustóleo, la nafta virgen y otros derivados del petróleo representan el 91% de la carga transportada por el río. Este hecho se debe a que, en la actualidad, el Río Magdalena es utilizado principalmente por la petrolera estatal Ecopetrol para el transporte de hidrocarburos entre el puerto de Barrancabermeja y la refinería de Cartagena. La navegabilidad en este tramo es limitada, ya que solo es posible en épocas de lluvia, cuando la profundidad del río lo permite. En partes más altas del río los servicios de transporte de carga en grandes volúmenes no pueden prestarse, principalmente por el elevado nivel de sedimentación y las malas condiciones de los puertos.

GRÁFICO 1  
Colombia: Transporte en modo fluvial, 1994 – 2013



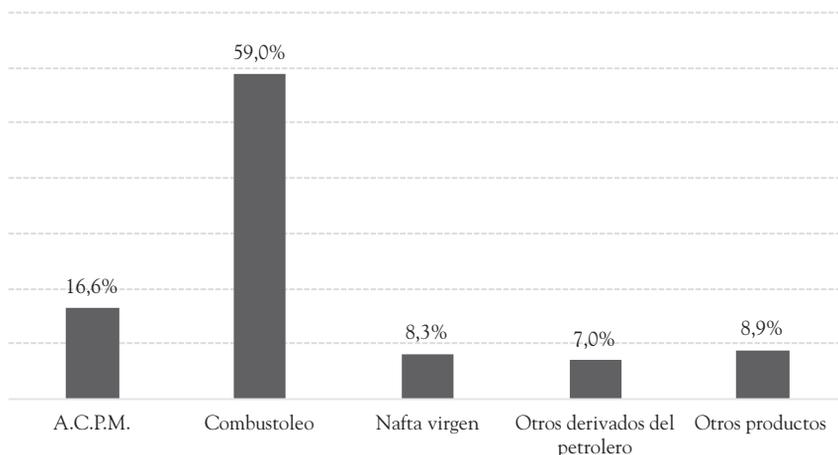
Fuentes: Elaboración propia con base en datos del Ministerio de Transporte.

GRÁFICO 2  
Colombia: Participación porcentual de la carga transportada por modo de transporte, 2013



Fuentes: Elaboración propia con base en datos del Ministerio de Transporte.

GRÁFICO 3  
 Río Magdalena: Distribución porcentual de los productos transportados,  
 2011



**Fuentes:** Elaboración propia con base en datos del Ministerio de Transporte.

El Gobierno Nacional le ha dado respaldo político a la idea de rehabilitar el Río Magdalena (Departamento Nacional de Planeación – DNP, 2011). En este sentido, recientemente se adjudicó el contrato de asociación público privada (APP) para el Proyecto de Recuperación de la Navegabilidad del Río Magdalena (Cormagdalena y Navelena S.A.S., 2014). Otras tareas, como la renovación de la flota de buques y la adecuación y modernización de los puertos, no están contempladas en el PRNRM. No obstante, ya se adelantan acciones para entregar algunos puertos en concesión y hay varias empresas navieras interesadas en iniciar operaciones de navegación en el río (Higuera, 2014).

El PRNRM consiste en realizar obras de encauzamiento y dragado de modo tal que se aseguren unas condiciones óptimas para el tránsito de buques de hasta 7.200 toneladas, 24 horas al día, durante todo el año. El PRNR se desarrollará bajo esquema de APP, donde un operador privado se encargará de la ejecución de obras de encauzamiento, dragado, señalización y mantenimiento entre Puerto Salgar/La Dorada y Bocas de Ceniza, para mantener una profundidad constante a lo largo de todo el año. El proyecto contempla un horizonte de 14 años, tiempo en el que el operador privado se encargará de la construcción de las obras requeridas

durante los primeros siete años, para después administrarlas. El riesgo de construcción será asumido, en su totalidad, por la firma ganadora de la licitación, que será remunerada por el avance de las obras y por los niveles de calidad en el servicio de navegabilidad que brinde. El valor total de los recursos destinados por la nación para la remuneración de la firma contratista es alrededor de USD \$700 millones.<sup>1</sup>

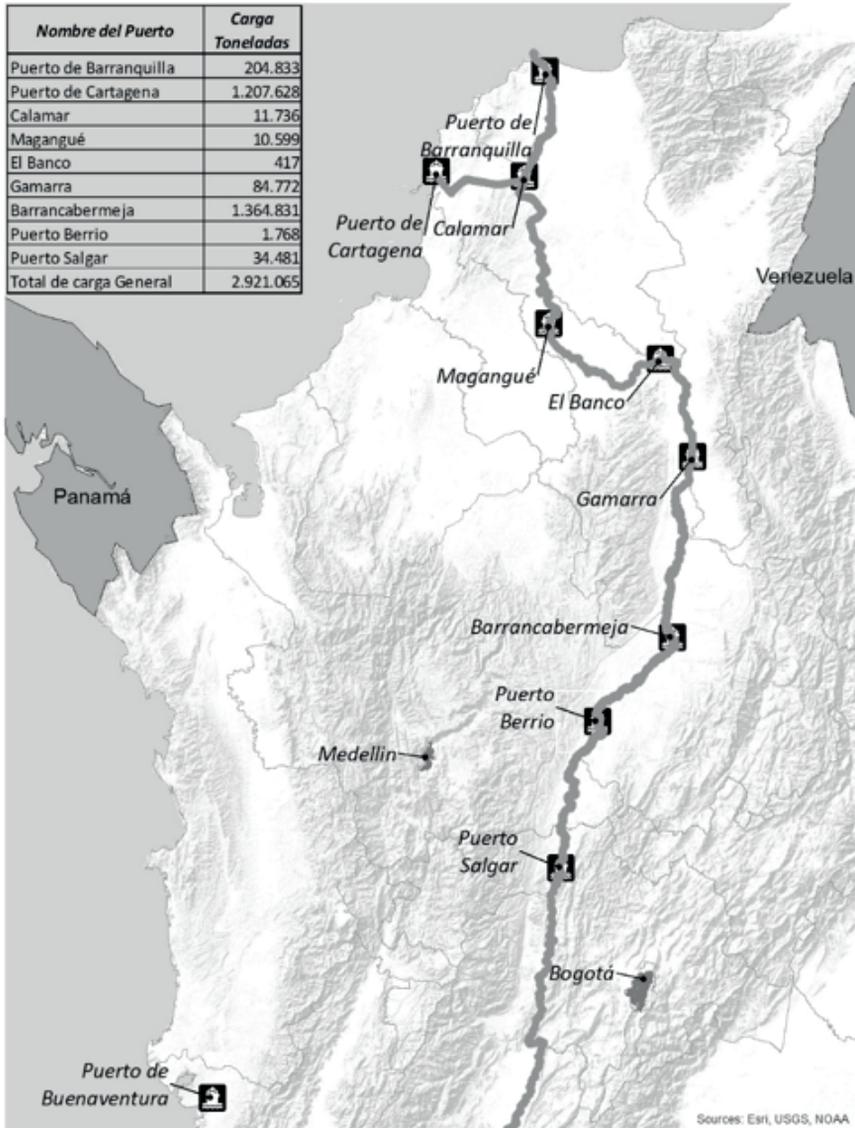
Varios son los estudios que recomiendan la habilitación del transporte fluvial hasta Puerto Salgar, pues se ha reconocido la importancia de este tramo del río como conexión intermodal de la carga proveniente de Bogotá y de las zonas productoras de petróleo y carbón en el interior del país y en el Magdalena Medio. Por ejemplo, Steer Davies Gleeve e Hidroestudios (2002) recomendaron rehabilitar la navegación del río entre Puerto Salgar – La Dorada y Bocas de Ceniza – Canal del Dique, garantizando una profundidad mínima constante durante todo el año y la adecuación de los puertos de Barrancabermeja, Puerto Berrio y Puerto Salgar. El Mapa 1 muestra los principales puertos que operan en el río y la carga que manejan en 2014.

En el caso de Bogotá, la potencialidad del PRNRM se encuentra principalmente en el sector de importaciones. Bogotá recibe un 50% de las importaciones nacionales, siendo los refinados del petróleo, equipos de radio y equipos de transporte los productos más importantes. Por otro lado, las exportaciones de la capital llegaron a USD \$3.104 millones y representaron 5% del total nacional. Los productos agrícolas e industriales, como textiles y químicos, son los más exportados (Secretaría de Distrital de Desarrollo Económico, s.f.). No hay información pública sobre los puertos marítimos que manejan la carga de la capital, pero es de esperarse que el Río Magdalena atraiga principalmente las cargas que se transportan a través de los puertos de la Región Caribe y, en menor medida, a través de Buenaventura, en la Región Pacífica. Sin embargo, para que este potencial se concrete es necesario complementar las obras del PRNRM con adecuaciones en los puertos fluviales y carreteras de acceso a los mismos que permitan manejar los productos industriales que comercia Bogotá, ya que actualmente la capacidad portuaria en el río son bastante precarias (Cárdenas, *et al.*, 2005).

---

<sup>1</sup> En pesos constantes de 2012, esta suma equivale a alrededor de COP \$1'319'000'000.000,00 (un billón trescientos diez y nueve mil millones) (Cormagdalena, 2013). Se utilizó la tasa de cambio promedio de 2013 (1.868,9 pesos por dólar) para hacer la conversión a dólares.

MAPA 1  
 Río Magdalena: Carga movilizada en sus principales puertos, 2014  
 (toneladas)



Fuentes: Elaboración propia con base en datos del Ministerio de Transporte.

Los estudios de factibilidad económica del proyecto han identificado varios beneficios y cargas que traería el PRNRM. Steer Davies Gleave e Hidroestudios (2002) y Steer Davies Gleave (2014) estudian la oferta y la demanda para varios escenarios de inversión mediante un análisis costo-beneficio. Se concluye que el mejor escenario es rehabilitar la navegabilidad entre Bocas de Ceniza/Canal del Dique y Puerto Salgar, haciendo inversiones cuantiosas en los puertos de Barrancabermeja, Puerto Berrío y Puerto Salgar, con un esquema de participación conjunta del gobierno y operadores privados, ya que el proyecto no es viable financieramente desde el punto de vista de un agente privado. De una evaluación socioeconómica se desprende que los principales beneficios económicos y sociales son la generación de empleo, ingresos fiscales, crecimiento del PIB, potencial de desarrollo turístico y reducción de emisiones de dióxido de carbono (Castro, *et al.*, 2015). Una vez entre en operación el PRNRM, se proyecta un volumen de cargas potenciales para el tramo Puerto Salgar–Puerto Berrío de cerca de tres millones de toneladas por año. Esta carga potencial se presenta como una posibilidad atractiva, teniendo en cuenta los volúmenes transportados históricamente en el sector Barrancabermeja–Cartagena, que ascienden hoy a cerca de dos millones de toneladas anuales (Empresas de Desarrollo Participativo – EMDEPA, 2011).

En este nuevo escenario, se contaría con una nueva alternativa para movilizar productos entre el interior del país y la Región Caribe, adicional al tradicional modo carretero. Por ejemplo, se añadiría la opción de transporte intermodal para las mercancías de exportación, usando la carretera para transportar la mercancía desde el punto de despacho hasta un puerto fluvial, para que luego continúe su recorrido por el Río Magdalena hasta un puerto marítimo, desde donde partirían.

La alternativa que finalmente escoja la empresa o el transportador estará determinada por diversos factores a los que cada agente le otorga distintos niveles de importancia. En particular, variables como el tipo de producto transportado, el costo del transporte, el tiempo y la confiabilidad de cada modo son variables que se tienen en cuenta al momento de realizar una elección. Otras variables que también pueden incidir en la elección son más difíciles de cuantificar. En este grupo se puede nombrar la existencia de acuerdos específicos y de larga duración entre empresas transportadoras y las firmas que contratan sus servicios, la diversidad de insumos o bienes producidos por una empresa, así como la variabilidad de la cantidad y tamaño de los pedidos y envíos de mercancías, entre otras.

### III. MÉTODOS DE ELECCIÓN DISCRETA EN LA ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE TRANSPORTE DE CARGA FLUVIAL

El estudio e investigación de los determinantes de la elección de los agentes entre distintos modos de transporte ha recibido aportes considerables, tanto en sus desarrollos teóricos, como en sus aplicaciones empíricas. Desde el trabajo seminal de McFadden (1974), que sentó las bases teóricas que vinculan el modelo de maximización de la utilidad individual con los métodos econométricos de elección discreta, el estudio de las variables de elección que los individuos consideran para tomar decisiones de modo de transporte ha ganado continuamente mayor importancia y aceptación entre los economistas y planificadores del transporte. El campo del transporte urbano de pasajeros concentra la mayor parte de estudios empíricos. Hoy es usual que el proceso de planeación del transporte en las ciudades contenga estudios de demanda que analizan, entre otras cosas, la elección modal de los usuarios. Los estudios que se enfocan en el transporte de carga son escasos, en gran medida como consecuencia de la limitada disponibilidad de información desagregada (Quinet y Vickerman, 2004).

El Cuerpo de Ingenieros de la Armada de Estados Unidos (ACE, por sus siglas en inglés) ha desarrollado modelos de planeación de inversiones para evaluar los costos y beneficios de los proyectos fluviales. Como parte de esta línea de trabajo se han realizado varias encuestas y estudios de elección discreta (Train y Wilson, 2004, 2007, y 2008), con el propósito de conocer las preferencias de las empresas por distintos modos de transporte que compiten con las vías fluviales a cargo de la ACE. Train y Wilson (2004) analizan la incidencia de los costos de transporte y tiempos de viaje sobre la demanda y la elección modal de transporte de los productores de granos en la cuenca alta de los ríos Mississippi e Illinois. Con este propósito, realizaron una encuesta para recoger información sobre las prácticas actuales de los transportadores (preferencias reveladas) y lo que harían en caso de que los costos o los tiempos del modo de transporte que utilizan aumentarían (preferencias declaradas). La información recolectada es utilizada en un modelo de elección discreta que estima elasticidades de demanda por transporte fluvial ante cambios en la tasa cobrada por el servicio y el tiempo en ruta. La elasticidad arco del modo y origen/destino de un envío de mercancía respecto al precio de la tarifa varía entre 1,38 y 0,62, para aumentos de 10% y 60% de la tarifa, respectivamente, mientras que la elasticidad arco respecto a cambios en la duración del envío varía entre 0,8, para aumentos de 10%, y 0,45, para aumentos del 60%.

En otro reporte, Train y Wilson (2007) utilizan una metodología similar para estimar la demanda por modos de transporte de firmas productoras y comercializadoras de bienes primarios (*commodities*) distintos a los granos, para la misma cuenca fluvial. Ya que la tasa de respuesta fue baja, utilizan métodos de regresión para imputar valores a algunas de las observaciones. Los resultados muestran que la elasticidad del modo respecto a la tarifa varía entre 0,58 y 3,6, y la elasticidad del modo respecto al tiempo, entre 2,98 y 0,39. También estiman la elasticidad arco del modo para la confiabilidad, que varía entre 0,58 y 1,55. No se encuentran diferencias significativas entre tipos de bienes primarios, así como tampoco diferencias entre la elección de quienes usan el modo fluvial y quienes usan el modo carretero.

El trabajo de Train y Wilson (2008) plantea un marco teórico que soporta modelos de elección discreta, para lo que denominan la metodología de preferencias declaradas a partir de preferencias reveladas, así como en explicar los modelos *mixed logit* que utilizan en los procedimientos de estimación. Para poner a prueba su metodología, Train y Wilson utilizan una encuesta realizada a firmas cercanas a la cuenca de los ríos Columbia y Snake, principalmente transportadores de granos. En lugar de calcular elasticidades, analizan la razón de los coeficientes de tarifa y tiempo, y tarifa y confiabilidad que, para el modelo *logit* estándar con datos de preferencias reveladas, resultan ser muy bajas y contraintuitivas. Al utilizar los métodos de preferencias declaradas, a partir de preferencias reveladas, la razón para el tiempo pasa a ser 1,34 y para la confiabilidad 0,16, guarismos que parecen más razonables.

Por otra parte, un estudio de García-Menéndez, *et al.* (2004) se pregunta por los determinantes de la elección entre los modos marítimo y carretero para cuatro sectores exportadores de la comunidad de Valencia, en España. Los autores realizan entrevistas a pequeñas firmas exportadoras y operadores logísticos de los cuatro sectores más representativos de la industria en Valencia. El modelo utilizado es un *logit* condicional. Encuentran que los atributos más importantes en el proceso de elección modal son el costo, el tiempo de viaje y la frecuencia de envíos. Las elasticidades punto para el modo carretero respecto a la tarifa del transporte por carretera y por vía marítima son, respectivamente, 0,33 y 0,99. Además los resultados sugieren que el transporte marítimo es más sensible a cambios en estas variables que el transporte por carretera. Es notable que en este estudio los agentes consideran más importante el tiempo que toma el trayecto que la tarifa del mismo, resultado contrario a las conclusiones de los estudios de la ACE.

El estudio de prefactibilidad de Steer Davies Gleeve e Hidroestudios (2002) es un análisis del flujo intermodal de carga basado en un modelo de elección modal, sin describir a fondo la metodología utilizada. Los resultados muestran que el tiempo de viaje es la variable con mayor poder explicativo; las demás tienen un coeficiente muy pequeño o no son significativas estadísticamente. Este es el caso de la tarifa, variable cuyo coeficiente no es significativo, cuando habría de esperarse que un agente determinara el modo de transporte de sus productos teniendo en cuenta los costos de cada alternativa disponible. Estiman la razón de los coeficientes tarifa y tiempo igual a cop \$22/hora, la que significa que en ese año las empresas estaban dispuestas a pagar COP \$22 por una reducción de una hora en el tiempo de viaje.

Sin embargo, posteriores estudios de evaluación económica del PRNRM utilizan fuentes de información secundarias (Steer Davies Gleave, 2014) o modelos gravitacionales (Castro, *et al.*, 2015) que presentan grandes dificultades para medir la demanda futura de transporte de carga por el Río Magdalena. Debido a ello, sus estimaciones de carga transportada y beneficios económicos deben ser leídas con cautela. Los métodos de elección discreta, como el presentado en este trabajo, son una alternativa para estimar con mayor precisión cambios en las condiciones de distintos modos de transporte, sobre todo cuando alguno de ellos es una alternativa desconocida y poco utilizada, como en el caso del transporte de carga por el Río Magdalena.

El Cuadro 1 muestra un resumen de los resultados de los estudios mencionados hasta el momento. Allí se presentan las elasticidades de precio y tiempo y/o la razón entre los coeficientes de estas variables. En general, las elasticidades encontradas en los diferentes trabajos tienen un gran nivel de variación, hecho que hasta cierto punto puede deberse a que la definición de la variable dependiente es distinta de un estudio a otro. El trabajo de Train y Wilson (2008), que presenta sus resultados en términos de la razón tiempo-tarifa, muestra que tal indicador puede presentar grandes variaciones dependiendo del modelo utilizado. Por consiguiente, el investigador debe examinar muy bien la especificación del modelo para que se aproxime a una descripción acertada de las preferencias de los agentes.

Otro tema importante en el estudio del transporte de carga es la determinación de qué agente tiene la responsabilidad de elegir el modo y la ruta de transporte. La diversidad de actores que intervienen en la cadena logística y las características propias de esta industria propician que esta decisión no esté a cargo únicamente del generador de la carga (Ortúzar y Willumsen, 2011). En especial,

**CUADRO 1**  
*Resumen de elasticidades encontradas en estudios de transporte  
 de carga por el modo fluvial*

Documento	Interpretación	Elasticidad precio	Elasticidad (ratio) tiempo
Train y Wilson (2004)	Porcentaje de firmas que cambiarían a su segunda mejor alternativa ante un incremento de 1% en la variable	0,62 a 1,38 dependiendo del cambio de la tarifa	0,45 a 0,8 dependiendo del cambio en el tiempo
García-Menéndez, <i>et al.</i> (2004)	Variación porcentual en la utilización del respectivo modo ante un aumento de 1% en la tarifa o el tiempo recorrido de la alternativa marítima	0,33 carretera y -3,2 marítima	0,99 carretera y -9 marítima
Train y Wilson (2007)	Porcentaje de firmas que cambiarían a su segunda mejor alternativa ante un incremento de 1% en la variable	0,58 a 3,6 dependiendo del cambio de la tarifa	0,39 a 2,98 dependiendo del cambio en el tiempo
Train y Wilson (2008)	Disponibilidad a pagar por un día menos de tránsito. Cifra en USD/tonelada-día		0,27 ( <i>logit</i> ) 0,71 ( <i>fixed coefficients logit</i> ) 1,34 ( <i>random coefficients logit</i> )
Steer Davies Gleeve e Hidroestudios (2002)	Disponibilidad a pagar por una hora menos de tránsito. Cifra en COP/hora		22

**Fuentes:** Elaboración propia con base en Train y Wilson (2004, 2007 y 2008), García-Menéndez, *et al.* (2004) y Steer Davies Gleeve e Hidroestudios (2002).

la información privilegiada y el grado de especialización que posee el operador logístico inciden en que, en algunos casos, sea él quien elija la ruta y modo de transporte. Feo-Valero, *et al.* (2011) presentan una discusión sobre la aproximación metodológica que han tomado diversos estudios de elección modal respecto al tema. Sus hallazgos sugieren que el debate está abierto pues hay trabajos que identifican al operador logístico como el agente decisorio y otros que identifican a la firma productora o distribuidora, siendo estos últimos más numerosos.

Para terminar, vale la pena citar un estudio de caso que puede servir de contexto sobre las posibilidades que ofrece la navegación fluvial. Notteboom (2012) analiza el potencial del Río Yangtze, en China, como motor del desarrollo para la región oeste de ese país. El delta del Yangtze baña la provincia de Shanghái y sirve de terminal logístico para las rutas de comercio internacional que allí se generan. Chongqing es la ciudad más importante de la parte alta del río y ha sido beneficiada por una política gubernamental encaminada a promover el desarrollo de las regiones interiores de China, lo que ha significado el florecimiento de las industrias automotriz, mecánica y química desde inicios del siglo. Al compararla con Shanghái, sus ventajas comparativas son la cercanía a recursos naturales estratégicos para la producción industrial y los menores costos laborales. Adicionalmente, Notteboom identifica que el aumento de la eficiencia del transporte de carga y la disminución de los costos logísticos por el río Yengtze, mediante la profundización en el uso de contenedores en el río, es una oportunidad atractiva para hacer más competitiva a la ciudad. Para acomodarse al desarrollo reciente de la cadena logística, Chongqing necesita adelantar inversiones en tecnología de contenedores, tanto en flota como en instalaciones portuarias.

#### IV. METODOLOGÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN

Con base en la literatura mencionada, se pueden formular dos hipótesis sobre la demanda potencial por el servicio de transporte que habilitará el PRNRM. Primero, que los determinantes más relevantes de la elección modal en el Río Magdalena son el costo, el tiempo de transporte, el nivel de servicio y el precio del transporte en el modo carretero. Este trabajo se concentra en la estimación del efecto que tienen las variables mencionadas sobre la elección modal.

Segundo, el PRNRM favorece especialmente el transporte de cierto tipo de productos a través del Río Magdalena, a saber, aquellas “cargas que tienen como características ser altamente perdurables, moverse en grandes volúmenes a grandes distancias y representar un bajo costo unitario [...] como: aceites vegetales, biocombustibles e hidrocarburos (gránulos líquidos), abonos y fertilizantes (gránulos sólidos), carbón, contenedores vacíos y minerales” (Cormagdalena, 2013, p. 17). No es posible profundizar en el estudio de esta hipótesis puesto que no se pudo recoger suficiente información para estimar efectos por tipo de producto o tipo de estiba. Aunque es de esperarse que el transporte multimodal por el Río Magdalena beneficie más a los productos mencionados, es necesario estudiar a

profundidad en qué medida responderán las empresas que transportan estos y otros tipos de productos. También hay que resaltar que el estudio de Cormagdalena identifica bienes y servicios producidos fuera de Bogotá y que es necesario tener en cuenta el potencial que tiene el transporte multimodal para las operaciones logísticas de la capital.

## A. La encuesta

La encuesta fue dirigida a empresas que realizaron operaciones de importación o exportación en 2012 y están registradas ante la Cámara de Comercio de Bogotá. Además, el universo de la muestra se restringió a empresas cuyas exportaciones FOB superaron los USD \$200.000, o cuyas importaciones CIF superaron los USD \$200.000, con el objeto de asegurar que las operaciones de comercio exterior fueran hechas de manera regular y las empresas estuvieran familiarizadas con las variables que inciden en la logística y el transporte de sus mercancías.

En la metodología utilizada se contactó telefónicamente a cada empresa y se le solicitó al encargado de comercio exterior o logística responder la encuesta vía email. En primera instancia se realizó una prueba piloto con 10 empresas que contestaron un borrador de la encuesta y a las que se les hizo una llamada de seguimiento para aclarar y refinar las preguntas. Luego, se recibieron respuestas entre el 11 de agosto y el 15 de septiembre de 2014. La encuesta incluía una sección de preguntas sobre características de la firma y sobre los atributos del último envío de exportación o importación que fue realizado (preferencias reveladas). Luego, en otra sección, se pedía comparar el último envío con varios escenarios hipotéticos que describían las condiciones de navegabilidad por el Río Magdalena (preferencias declaradas) y elegir si cambiaría la alternativa escogida para el envío (alternativa actual) por la alternativa de transporte multimodal que combina la carretera con el Magdalena (alternativa fluvial). En el Anexo se muestran los 12 escenarios construidos. Cada escenario está descrito por la tarifa del envío, el tiempo que demora el trayecto, la confiabilidad del servicio y la regularidad con la que podría usarlo. Para cada atributo se definieron niveles de eficiencia altos y bajos y se partió de un escenario base, donde todos los atributos tienen un nivel de eficiencia alto.<sup>2</sup> En el resto de escenarios se cambia el nivel de algunos de los atributos de la alternativa fluvial. Contestaron un total de 92 empresas.

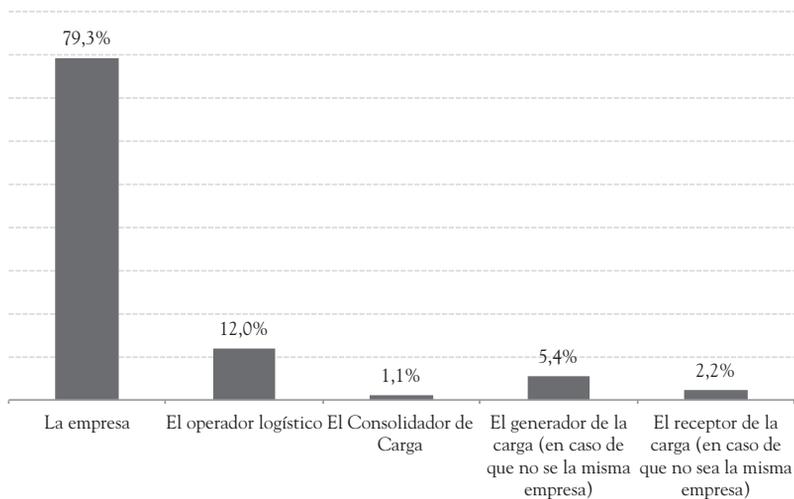
---

<sup>2</sup> La frecuencia y la confiabilidad tienen dos niveles de variación, el tiempo tiene tres y la tarifa, cuatro.

En la encuesta se preguntó quién decidía el modo y la ruta de transporte del último envío realizado. Las empresas que dijeron que tomaban las decisiones de transporte de carga por cuenta propia ascendieron a 73 (79% de la muestra). El resto de empresas, como lo muestra el Gráfico 4, delegaba este tipo de decisiones en otros agentes del sector transportador. La encuesta completa se aplicó a aquellas empresas que contestaron que ellas elegían el modo de transporte. Como ya se mencionó, se debe tener en cuenta que son empresas suficientemente grandes para exportar y/o importar más de USD \$200.000 en 2013.

La intuición del autor es que para las empresas que asuman los costos de transporte a nivel nacional será racional evaluar los costos y beneficios de cambiar de modo. La navegabilidad en el Río Magdalena significa la entrada en escena de un modo de transporte que actualmente no es viable para las empresas ubicadas en Bogotá y sus alrededores y, por lo tanto, no es ofrecido por los operadores logísticos. Ya que utilizar el modo fluvial implicaría cambios capaces de afectar considerablemente las operaciones logísticas y la rentabilidad de una empresa, son estas las que terminarán escogiendo si mantener la ruta y modo actual o cambiarse a la alternativa del Magdalena. En esta etapa el operador logístico solo puede servir de

GRÁFICO 4  
*Agente que toma las decisiones de transporte*



**Fuentes:** Elaboración propia con base en datos de encuesta de preferencias.

apoyo, puesto que es el más capacitado para proporcionar la información sobre los niveles de servicio que ofrecen los distintos modos.

Además, las empresas que respondieron que transportaban sus productos por vía aérea no fueron incluidas en la muestra para las estimaciones de los modelos econométricos. La razón de ello es la dificultad de hacer comparables los costos de transporte de las empresas que utilizan este modo con los costos en que incurrirían al utilizar el Río Magdalena, ya que la medida planteada en el estudio (tarifa del flete para el trayecto al interior de Colombia) es difícil de homogeneizar para envíos aéreos. Adicionalmente, por datos errados o respuestas incompletas, otras encuestas tampoco pudieron ser usadas.<sup>3</sup> En conclusión, las empresas que se tendrán en cuenta en la regresión son 30, de las cuales 29 contestaron todos los doce escenarios alternativos planteados y una contestó solo dos escenarios. De esta manera, se cuenta con un total de 350 pseudo-observaciones.<sup>4</sup>

## B. Estadísticas descriptivas

Los Cuadros 2, 3 y 4 muestran estadísticas descriptivas de distintas variables recogidas en la encuesta. Su significado se indica a continuación:

- **Tarifa:** Tarifa pagada por el último envío entre el lugar de origen y destino al interior de Colombia. Cifras en pesos corrientes.
- **Tiempo:** Duración en horas del último envío de comercio internacional realizado entre el lugar de origen y destino al interior de Colombia.
- **Confiabilidad:** Porcentaje de entregas a tiempo de la ruta utilizada en el último envío.
- **Frecuencia:** Número de servicios por semana que puede realizar utilizando la ruta y modos del último envío.

---

<sup>3</sup> De las 73 empresas que toman las decisiones de transporte, 32 no contestaron información esencial para poder utilizarlas en el modelo, 10 realizan las operaciones de comercio exterior por vía aérea y una tiene flota propia, de modo que no utilizaría el modo fluvial.

<sup>4</sup> 29 empresas  $\times$  12 escenarios + 1 empresa  $\times$  2 escenarios. Bajo estas condiciones, el tamaño de la muestra no alcanza a ser representativo y debe tenerse cuidado al extrapolar los resultados al universo muestral. Así mismo, variables categóricas a nivel de empresa, como el tipo de estiba y la partida arancelaria, no pudieron ser utilizadas en las regresiones pues se presentan problemas de predictores cuasi-perfectos.

- Distancia: Kilómetros recorridos para el trayecto en Colombia del último envío realizado.
- Peso: Peso en toneladas del último envío realizado.
- Cost\_km\_ton: Costo por kilómetro por tonelada. Calculado mediante la Ecuación 1.

$$\text{Cost\_km\_ton} = \frac{\text{Tarifa\_COP}}{\text{Distancia} * \text{Peso}} \quad (1)$$

- Ocasional: Variable *dummy*, que adquiere el valor de 1 si la empresa realiza menos de un envío por semana; y 0 si realiza un envío o más por semana.

Como las empresas encuestadas se localizan en Bogotá y sus alrededores, el viaje típico que describen las estadísticas del Cuadro 2 corresponde al realizado entre esta ciudad y uno de los puertos marítimos de Colombia, principalmente Buenaventura y Cartagena. El recorrido promedio toma cerca de 33 horas; se recorre una distancia de 807 km. La variabilidad es grande, ya que la distancia por carretera entre Bogotá y Buenaventura es aproximadamente 500 kms., mientras que hasta los puertos de la Costa Caribe es de casi 950 kms. El envío realizado tiene un peso promedio de 18,4 toneladas y un costo de poco menos de COP \$3.800.000. El costo por kilómetro por tonelada, que es una medida usualmente utilizada para comparar el costo de transporte de carga, asciende a COP \$340, pero

## CUADRO 2

*Estadísticas descriptivas de las principales variables utilizadas en el estudio*

Variable	Obs	Mean	Std.Dev.	Min	Max
Tiempo	30	33,65	18,48	12	72
Distancia	30	807,1	246,6	226	1200
Peso	30	18,39	11,87	1	48
Frecuencia	30	4,79	5,99	1	25
Tarifa	30	3.797.428	2.052.498	1.500.00	8.900.000
cost km ton	30	303,1	181,8	129,6	909,8

**Fuentes:** Elaboración propia con base en datos de encuesta de preferencias.

tiene una desviación estándar de COP \$182. La magnitud de la variación es una posible consecuencia de las dimensiones de la carga y la cantidad de operaciones de comercio exterior que realiza cada empresa, pues mientras algunas realizan movimientos de carga esporádicos, otras hacen más de 20 envíos semanales.

El Cuadro 3 muestra el tipo de usuario de los servicios de transporte. La mayoría de las empresas (26) realiza importaciones, 16 empresas exportan y una es consolidadora de carga. Puede resaltarse que 12 de las empresas que exportan también realizan operaciones de importación. El Cuadro 4 muestra las tablas de frecuencias para un conjunto de variables categóricas. En la encuesta, la confiabilidad de la ruta utilizada en el envío podía tomar tres niveles, siendo 75% y 95% los que concentran la mayoría de las respuestas. 18 empresas transportan su carga en contenedores, ocho como carga general suelta y el resto como otros tipos de estiba. Además, tres de las empresas encuestadas realizan operaciones de comercio internacional de forma ocasional.

En el Gráfico 5 se muestra la proporción de respuestas donde se elegiría la alternativa fluvial respecto a las respuestas totales, para cada variable hipotética del servicio de transporte multimodal. Las variables de tarifa y confiabilidad muestran una tendencia creciente (Gráficos 5a y 5c) y el tiempo de recorrido, una tendencia decreciente, según lo esperado (Gráfico 5b). Llama la atención que la alternativa fluvial es preferida cuando se dispone de un servicio por semana en contraste con los escenarios con dos servicios por semana, hecho que resulta contraintuitivo (Gráfico 5d).

CUADRO 3  
*Tipo de usuario*

Tipo de usuario	Frecuencia
Consolidador de carga	1
Importador	14
Exportador	4
Exportador e importador	12

**Nota:** La pregunta tenía respuesta de opción múltiple. El Cuadro muestra las combinaciones de cada tipo de usuario.

**Fuentes:** Elaboración propia con base en datos de encuesta de preferencias.

**CUADRO 4**  
Cuadros de frecuencias para la confiabilidad, tipo de estiba  
y usuario ocasional

Variable	Categoría	Frecuencia	%
Confiabilidad: Porcentaje de entregas a tiempo de la ruta utilizada en el último envío	50%	2	6,6
	75%	15	50
	95%	13	43,3
	Total	30	100
Tipo de estiba producto más importante	Carga general suelta	8	26,6
	Contenedor	18	60
	Extradimensionado y todos los anteriores	1	3,3
	Granel líquido	1	3,3
	Refrigerado	2	6,6
	Total	30	100
Ocasional: dummy. 1: realiza menos de un envío por semana. 0: realiza un envío o más por semana.	Realiza al menos un envío por semana	27	90
	Realiza menos de un envío por semana	3	10
	Total	30	100

**Fuentes:** Elaboración propia con base en datos de encuesta de preferencias.

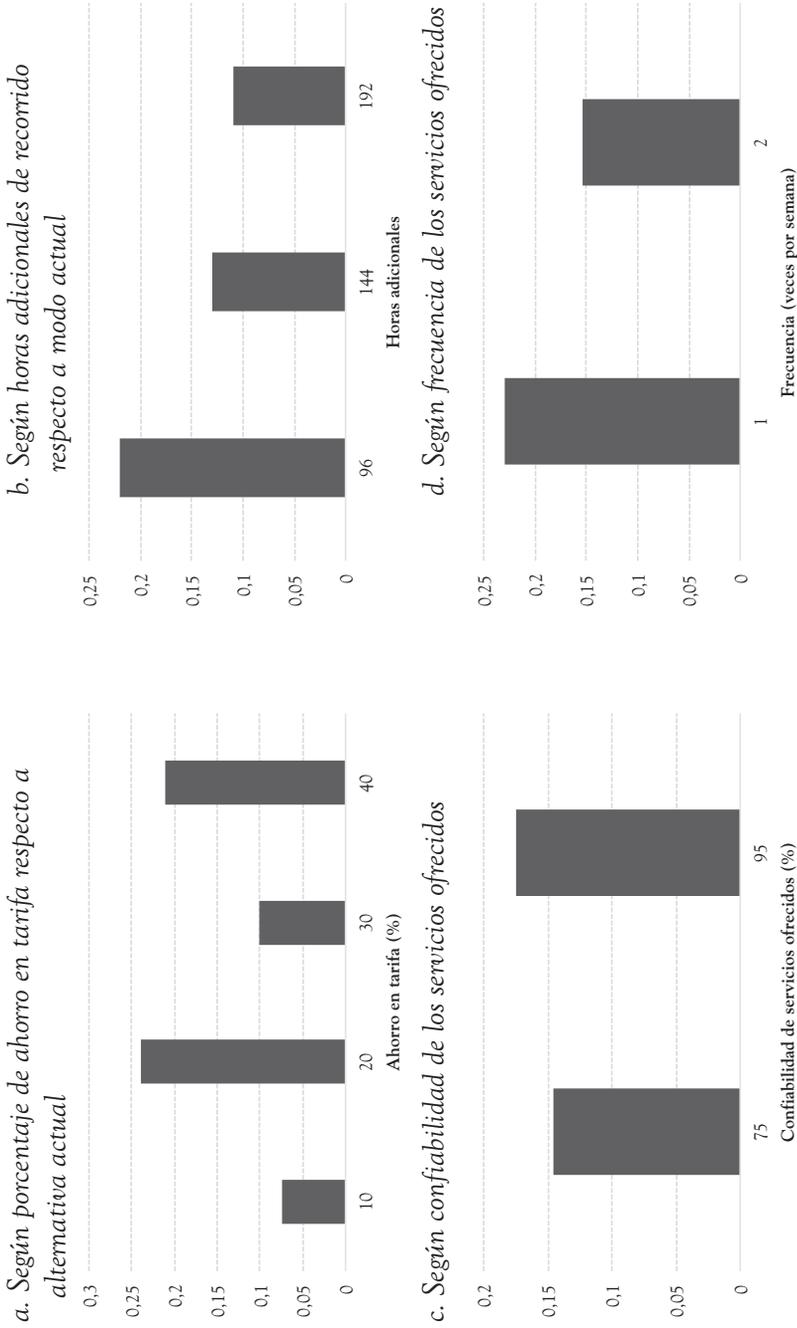
## V. LOS MODELOS DE UTILIDAD ALEATORIA

La investigación hace uso de modelos de utilidad aleatoria, empleando información desagregada a nivel de firma. La metodología se basa en el método de preferencias declaradas, donde se proponen alternativas hipotéticas para el transporte de carga por el Río Magdalena y se comparan con el modo de transporte que actualmente utiliza el agente. Es así como, con datos de las características, tanto de los distintos modos de transporte, como de la empresa, se definen funciones de utilidad derivadas del uso de cada modo de transporte, a partir de las cuales pueden construirse modelos de elección discreta.

El presente estudio parte de un modelo *logit* con funciones de utilidad lineales y aditivas para dos alternativas: La primera es el modo de transporte que

GRÁFICO 5

Colombia: Proporción de elección del modo fluvial según niveles de las variables tarifa, tiempo, confiabilidad y frecuencia, en encuesta de preferencias declaradas



Fuentes: Elaboración propia con base en datos de encuesta de preferencias.

actualmente utiliza el agente y, la segunda, la alternativa de transporte multimodal a través del Río Magdalena y la carretera. Las funciones de utilidad están descritas por

$$U_{qa} = \theta_1 time_{qa} + \theta_2 fee_{qa} + \theta_3 conf_{qa} + \theta_4 freq_{qa} + \delta_a X_a + \varepsilon_{qa} \quad (2)$$

$$U_{qr} = \theta_0 + \theta_1 time_{qr} + \theta_2 fee_{qr} + \theta_3 conf_{qr} + \theta_4 freq_{qr} + \delta_r X_r + \varepsilon_{qr} \quad (3)$$

Donde,

el subíndice  $a$  corresponde a la alternativa actual,

el subíndice  $r$  corresponde a la alternativa multimodal del Río Magdalena,

el subíndice  $q$  hace referencia a una empresa particular.

$time$  es la duración del recorrido de transporte,

$fee$  es la tarifa pagada por el servicio,

$conf$  es el nivel de confiabilidad,

$freq$  es la frecuencia de los envíos,

$X$  es un vector de atributos propios de la firma, con sus respectivos coeficientes  $\delta$ , y

$\varepsilon$  es el error idiosincrático.

La alternativa de transporte actual será considerada la base y sus coeficientes serán normalizados a cero. Por lo tanto, los parámetros estimados medirán el cambio de la utilidad relativa de escoger la alternativa multimodal del Río Magdalena respecto a la alternativa de transporte actual.<sup>5</sup>

La probabilidad de que la empresa  $q$  escoja utilizar el río para transportar la carga es:

$$P_{qr} = \frac{\exp(V_{qr})}{\exp(V_{qr}) + \exp(V_{qa})} \quad (4)$$

Donde  $V$  es igual a la utilidad,  $U$ , menos el termino aleatorio  $\varepsilon$ .

Se emplean la elasticidad arco y las probabilidades predichas como medidas para evaluar el impacto de cambios de las variables de interés sobre la probabi-

<sup>5</sup> Para la estimación se consideraron las variables peso, distancia y ocasional. La variable  $cost\_km\_ton$  no era significativa en varias especificaciones, así que se decidió no incluirla.

lidad de utilizar la alternativa fluvial. La razón es que los niveles de las variables tenidas en cuenta en los escenarios de la encuesta presentan diferencias considerables entre un nivel y otro, por lo que el cálculo de elasticidades punto o efectos marginales es inapropiado en este contexto.<sup>6</sup> Formalmente, la elasticidad arco del transporte de carga por el río con respecto al cambio de un valor inicial,  $x^0$ , a un valor posterior,  $x^1$ , se calcula como

$$E_{qrx} = \frac{\frac{P_{qr}^1 - P_{qr}^0}{P_{qr}^0}}{\frac{x^1 - x^0}{x^0}} \quad (5)$$

Un supuesto adicional en el cálculo de las elasticidades arco de este estudio es que  $P_{qr}^0 = 0$ . Ello significa que se considera que la alternativa multimodal no es usada actualmente por ninguna firma, lo cual no es lejano a la realidad del transporte de carga de Bogotá.

Otra medida utilizada en la literatura son los indicadores de disponibilidad a pagar, que asignan un valor monetario a la utilidad que proporciona el cambio en alguna de las variables explicativas. En el caso de los estudios de transporte, el indicador más analizado mide la disponibilidad a pagar por ahorros en el tiempo de transporte, mediante el cociente de los coeficientes asociados a la variable de tiempo y a la variable de tarifa  $\left(\frac{\theta_1}{\theta_2}\right)$ , según la especificación de las Ecuaciones 2 y 3. Otra interpretación alternativa para el cociente es entenderlo como la tasa marginal de sustitución entre el tiempo y la tarifa de transporte.

## VI. MODELO MIXED LOGIT

El *mixed logit* es un refinamiento econométrico que elimina algunos problemas del modelo *logit* estándar. Train (2009) explica que los *mixed logit* tienen en

<sup>6</sup> En el Anexo se presentan todos los escenarios utilizados, con los diferentes niveles de atributos. Por ejemplo, para el tiempo de la alternativa fluvial se definieron tres niveles 4, 6 y 8 días más que el tiempo gastado en la alternativa actual de carretera. Considerando que el tiempo promedio en la alternativa por carretera es de 33 horas, dos días más de recorrido corresponden a una variación de más de 100%, por lo que los cambios marginales que mide la elasticidad punto no son apropiados.

cuenta diferencias en gustos individuales, patrones de sustitución no restringidos y correlación entre factores no observados a lo largo del tiempo. En el mismo sentido McFadden y Train (2000) muestran que cualquier modelo de elección discreta generado a partir del esquema de maximización de la utilidad aleatoria puede ser emulado por una correcta especificación de un *mixed logit*. A continuación se explica en forma sucinta la formulación econométrica del modelo, que es descrita por:

$$P_{jq} = \int L_{jq}(\theta) f(\theta) d\theta \quad (6)$$

Donde,

$L_{jq}(\theta)$  es la probabilidad del *logit* para la empresa  $q$ , en la alternativa  $j$ , evaluada en los parámetros  $\theta$ , y  
 $f(\theta)$  es una función de densidad.

Es así que la probabilidad del *mixed logit* es la media ponderada de la fórmula del *logit* evaluada en diferentes niveles de los parámetros  $\theta$ . Si la utilidad es lineal en los  $\theta$ , entonces la probabilidad es descrita por:

$$P_{jq} = \int \left( \frac{\exp(\theta' X_{jq})}{\sum_{A_j \in A \in (q)} \exp(\theta' X_{iq})} \right) f(\theta) d\theta \quad (7)$$

El principal atractivo del *mixed logit*, en el caso del experimento de preferencias declaradas como el que se maneja en este estudio, es que relaja el supuesto de errores independientes. En la encuesta, la misma empresa responde a varios escenarios de elección y habría de esperarse que sus preferencias individuales afecten la forma en que se evalúan sus alternativas en cada escenario, violando así el supuesto de independencia de alternativas es irrelevante (Hensher and Greene, 2001). Pero si se reformula el modelo de comportamiento individual de la siguiente manera:

$$U_{jqt} = \sum_k \theta_k x_{jqt} + \varepsilon_{jqt} \quad (8)$$

Donde

$U_{jqt}$  representa la utilidad de la empresa  $q$  derivada de la alternativa  $j$  para el escenario  $t$ ,

$x_{jqt}$  representa atributos de las alternativas o características de la empresa,  
 $\varepsilon_{jqt}$  son errores aleatorios

A diferencia del modelo *logit*,  $\theta_q$  son parámetros aleatorios que se pueden representar mediante  $\theta_q = \theta + \eta_q$ . Siendo  $\theta$  la media y  $\eta_q$  la desviación de la media causada por las preferencias individuales, la Ecuación 8 pasa a ser:

$$U_{jqt} = \sum_k \theta_k x_{jqt} + (\eta_q x_{jqt} + \varepsilon_{jqt}) \quad (9)$$

Debido a que  $\eta_q$  está correlacionado entre alternativas y entre escenarios de decisión, es necesario tener en cuenta la covarianza entre estos términos para obtener estimadores insesgados. El modelo *mixed logit* supone una distribución específica,  $f(\theta)$ , y mediante técnicas de simulación extrae distintos valores para los parámetros aleatorios. De esta manera se pueden estimar la media, la desviación estándar (SD) y las covarianzas entre parámetros generadas por los componentes aleatorios  $\eta_i$ , al mismo tiempo que se tiene en cuenta la heterogeneidad presente en las preferencias de los agentes.

De esta forma, en el modelo *mixed logit* del estudio se suponen distribuciones aleatorias para los parámetros del tiempo, la tarifa, la confiabilidad y la frecuencia, por lo que las Ecuaciones 2 y 3, que describen el modelo *logit*, se transforman de la siguiente manera:

$$U_{qa} = \theta_{1q} time_{qa} + \theta_{2q} fee_{qa} + \theta_{3q} conf_{qa} + \theta_{4q} freq_{qa} + \delta_a X_a + \varepsilon_{qa} \quad (10)$$

$$U_{qr} = \theta_0 + \theta_{1q} time_{qr} + \theta_{2q} fee_{qr} + \theta_{3q} conf_{qr} + \theta_{4q} freq_{qr} + \delta_r X_r + \varepsilon_{qr} \quad (11)$$

Aquí la diferencia conceptual radica en que la hipótesis de comportamiento supone explícitamente que el efecto de cambios en las variables mencionadas arriba es distinto para cada empresa, característica que en la literatura se conoce como heterogeneidad individual. En el modelo econométrico, esto se traduce en que a  $\theta_{1q}$ ,  $\theta_{2q}$ ,  $\theta_{3q}$  y  $\theta_{4q}$  se les asigna una distribución de probabilidad y el procedimiento estadístico permite estimar parámetros de la media y de la distribución estándar (SD) de los efectos individuales para cada variable. De esta forma se contrarresta el sesgo que las preferencias individuales pueden generar sobre los estimadores en el experimento de preferencias declaradas.

## VII. RESULTADOS

El modelo econométrico que se deriva de las Ecuaciones 2 y 3, para el *logit*, y de las Ecuaciones 10 y 11, para el *mixed logit*, arroja los coeficientes mostrados en el Cuadro 5. El modelo *mixed logit* fue formulado definiendo los coeficientes de tarifa, tiempo y confiabilidad como aleatorios, con una distribución lognormal, y el coeficiente de frecuencia con una distribución normal.<sup>7</sup> La distribución lognormal asegura que el signo del coeficiente sea el mismo para todos los individuos de la muestra, que es algo deseable en los coeficientes a los que se aplicó esta distribución, ya que se supone que, ante un aumento del tiempo de transporte fluvial, por ejemplo, todas las empresas verán disminuida la probabilidad de utilizar dicho modo. Además, en el Cuadro 5 se han transformado los coeficientes con distribución lognormal del *mixed logit* para hacerlos comparables con los coeficientes del *logit*. En los resultados del modelo *mixed logit* se presentan los parámetros estimados para la media del efecto individual, en la columna de *Coef.*, y la desviación estándar del mismo, en la columna *SD*.

Tanto en el modelo *logit* como en el *mixed logit* los coeficientes de la tarifa, el tiempo, y la confiabilidad son significativos a un nivel del 5%. Al aumentar la tarifa o el tiempo de trayecto en un modo de transporte es de esperarse que la utilidad percibida por usarlo disminuya y la probabilidad de utilizarlo también lo haga, por lo que el signo del coeficiente en estas variables es negativo. Al contrario, cuando las empresas ganan confianza en la puntualidad con la que su carga se desplaza por un modo de transporte aumenta la probabilidad de utilizarlo y el signo del coeficiente es positivo. El signo de la frecuencia es negativo en el modelo *logit*, hallazgo extraño y difícil de explicar, puesto que indica que aumentar la frecuencia de la alternativa fluvial en un servicio más por semana disminuye la probabilidad de que la empresa la escoja. Este hecho seguramente está relacionado con los datos a disposición, tal como lo mostró el Gráfico 6. En el modelo *mixed logit*, el coeficiente de la frecuencia pasa a ser positivo, no significativo y con una elevada variabilidad entre individuos, lo que sugiere que ciertas empresas no consideran la regularidad una variable importante. También cabe anotar que en el estudio de

---

<sup>7</sup> Para estimar el modelo se utilizó un comando de Stata *mixlogit* (Hole, 2007). Además de la especificación descrita, se intentó estimar un modelo con distribuciones normales para los coeficientes de tiempo, tarifa y confiabilidad. Sin embargo, tal modelo no convergió. Se presentan los resultados para el modelo con 500 iteraciones.

CUADRO 5  
Coeficientes modelos de elección discreta

Variable	Logit	Mixed logit	
	Coef.	Coef.	SD
Tarifa	-0.124*** (0,025)	-0.193*** (0,05)	0,099
Tiempo	-0.384*** (0,099)	-0.875*** (0,23)	0,409
Confiabilidad	0.028** (0,012)	0.055** (0,024)	0,004
Frecuencia	-0.151*** (0,035)	0,028 (0,152)	0,544
Number of cases	350	350	
Number of firms	30	30	
Wald $\chi^2(7)$ /LR $\chi^2(4)$	49.86***	50.84***	
Pseudo-R <sup>2</sup>	0,2473	0,4058	

Notas: (1) Errores estándar en paréntesis. (2) Tarifa en cientos de miles de COP. (3) Tiempo en días. (4) \*\* Significativo al 5% \*\*\* significativo al 1%.

Fuente: Elaboración propia.

Steer Davies Gleeve e Hidroestudios (2002) el signo de frecuencia es no significativo, lo que refuerza la idea de que es la variable menos importante en el proceso de decisión de las alternativas de transporte modal.

El Cuadro 5 también muestra dos pruebas de significancia conjunta que vale la pena explicar. En la columna del modelo *logit* se presenta el estadístico del test de Wald con siete grados de libertad, que evalúa la significancia conjunta de todas las variables utilizadas en ese modelo. Por el contrario, en la columna del modelo *mixed logit* se presenta un estadístico del test de razón de verosimilitud que compara los modelos *mixed logit* y *logit*. La hipótesis nula que se intenta probar es que los estimadores de la desviación estándar (SD) son iguales a 0; de aquí se desprende que los grados de libertad son cuatro. De esta manera, el modelo no restringido sería la especificación *mixed logit* y el modelo restringido la especificación *logit*. Tanto el test de Wald como el de razón de verosimilitud ratifican la

significancia conjunta de los parámetros a un nivel de confiabilidad del 1%. Este hecho, además, sugiere que el modelo *mixed logit* tiene mejor bondad de ajuste, como también lo indica un valor más elevado del indicador pseudo-R<sup>2</sup> respecto al del modelo *logit*.

El cociente entre los coeficientes del tiempo y la tarifa es 309.677 en el modelo *logit*, y 453.368 en el modelo *mixed logit*. Para este último modelo, esta cifra representa la disponibilidad a pagar por el tiempo de transporte, también conocida como valor monetario del tiempo, y significa que la empresa promedio está dispuesta a pagar COP \$435.368 más si el tiempo que demora el transporte de su carga disminuye en un día. Esto equivale al 12% del precio promedio pagado por un envío, que es de COP \$3.797.428. Tomando el peso promedio de un envío, 18,4 toneladas, la disponibilidad a pagar sería de COP \$24.640 por tonelada por día.

En el caso del tiempo y la tarifa, el modelo *mixed logit* arroja una heterogeneidad individual relativamente alta. Por ejemplo, en el caso de la tarifa, el coeficiente es -0,193 y la desviación estándar de casi 0,1. Esto implica que el efecto marginal entre distintas empresas perfectamente puede variar 50%. Puede intuirse que uno de los factores determinantes de tal grado de heterogeneidad entre empresas son los distintos tipos de productos que transportan, algunos más susceptibles de ser transportados a través del Río Magdalena que otros.

Pasando al cálculo de las elasticidades, el Cuadro 6 muestra las probabilidades predichas de los modelos y las elasticidades arco para cada nivel de los atributos de tarifa, tiempo y confiabilidad. El primer hallazgo que se debe analizar es que las probabilidades predichas del modelo *mixed logit* son mucho más altas que las del *logit*, para todos los atributos. Por ejemplo, si las probabilidades se interpretan como participaciones modales, el escenario más desfavorable para la alternativa fluvial sería aquel en que la tarifa es 10% más baja que la de la alternativa actual. En este escenario el modelo *logit* predice una participación de la alternativa fluvial del 3,3% de las empresas, mientras que el modelo *mixed logit* predice una participación de 10,5%. Diferencias similares ocurren para los otros niveles de las dos variables, hecho que motiva una discusión sobre la especificación del modelo y también una comparación con el estado actual del transporte por el Magdalena.

Las probabilidades predichas, comparativamente más elevadas del modelo *mixed logit*, permiten ver la importancia que tienen los supuestos de comportamiento al hacer predicciones. Hensher y Greene (2001) resaltan que la aproximación del *mixed logit* ofrece grandes oportunidades para enriquecer los conocimientos sobre las preferencias y la elección individual y así poder brindar respuestas

## CUADRO 6

Probabilidades predichas y elasticidades para la tarifa, el tiempo, y la confiabilidad de la alternativa fluvial

Tarifa (% de ahorro respecto al último envío)	Logit		Mixed logit	
	Probabilidad alternativa fluvial	Elasticidad	Probabilidad alternativa fluvial	Elasticidad
10%	3,30%	0,33	10,50%	1,05
20%	5,40%	0,27	21,70%	1,09
30%	8,60%	0,29	11,50%	0,38
40%	13,30%	0,33	24,50%	0,61

Tiempo (# días adicionales)	Logit		Mixed Logit	
	Probabilidad alternativa fluvial	Elasticidad	Probabilidad alternativa fluvial	Elasticidad
4 días	16,20%	-0,05	24,50%	-0,08
6 días	8,20%	-0,02	16,20%	-0,04
8 días	4,00%	-0,01	14,10%	-0,02

Confiabilidad	Logit	Mixed logit
	Probabilidad alternativa fluvial	Probabilidad alternativa fluvial
75%	6,20%	16,20%
95%	10,40%	20,80%

Fuente: Elaboración propia.

más potentes a muchos problemas y desafíos que el Estado, las organizaciones y las personas deben enfrentar. Las Ecuaciones 7 y 8 ponen de manifiesto cómo este tipo de modelos pueden ayudar a mejorar la precisión de la estimación, ante posibles problemas de sesgo, en un experimento de elección que captura preferencias declaradas, como es el caso en la presente investigación. No obstante, subraya que los resultados satisfactorios en modelos *mixed logit* dependen de la buena calidad de la información utilizada. Sobre este punto, las estadísticas descriptivas sugieren que algunas preguntas relacionadas con la variable frecuencia y la variable tarifa, para el nivel de 20% de ahorro, pudieron ser contestadas de forma

errónea por algunas empresas y, dado que la muestra es pequeña, estas sesgaron los resultados.

Ahora bien, el transporte fluvial ha reducido su participación en el total de los servicios de transporte de 3,5% a finales de la década de los 90 a menos del 1% en la actualidad. Por lo tanto, es posible pensar que una vez se concluya con éxito el PRNRM será fácil que se vuelva a captar la cifra de finales de siglo y un poco más, por lo que no sería exagerado pensar en una participación del 10%. Sin embargo, participaciones de más del 20% en el Magdalena solo serían posibles de alcanzar realizando grandes inversiones, adicionales al PRNRM, para lograr niveles de servicio que ofrezcan cuatro días adicionales de recorrido y ahorros del 40% en costos de transporte. Por lo tanto, los resultados del modelo *mixed logit* pueden ser factibles, aunque deben ser tomados con precaución.

Al comparar las elasticidades arco de la tarifa y el tiempo para la alternativa fluvial puede verse que los guarismos de la primera son mucho mayores. La elasticidad de la tarifa está en un rango entre -0,27 y -0,33 en el modelo *logit* y -0,38 y -1,09 en el modelo *mixed logit*. Por su parte, la elasticidad del tiempo no supera el -0,08, lo que significa que un aumento del 1% en el tiempo de viaje por la alternativa fluvial, respecto a la media del modo carretero en la muestra, disminuye la probabilidad de escoger la alternativa fluvial en 0,08%. El 1% de aumento en el tiempo promedio de viaje es equivalente a 19 minutos, variación que no es significativa en términos prácticos. La mayoría de las empresas entrevistadas piensan en términos de días; para ellos un envío se demora un día y medio o dos días, por lo que una variación de, por ejemplo, 2 horas tiene poca relevancia. Además, la elasticidad del tiempo encontrada aquí está muy por debajo de las elasticidades encontradas en otros trabajos. Esto puede ser un indicador del bajo nivel de desarrollo de la operación logística en Colombia, ya que mientras en el país las empresas pueden estar acostumbradas a lidiar con demoras de varias horas en la entrega y recepción de envíos, en otros países estas variaciones pueden ser más determinantes al momento de escoger el modo y la ruta de transporte. En el índice de desempeño logístico de 2014 Colombia se ubica en el puesto 97 entre 160 países, siendo la puntualidad el área de peor desempeño (puesto 111) (Arvis, *et al.*, 2014).

La elasticidad arco de la tarifa puede interpretarse como el cambio porcentual de la probabilidad de utilizar la alternativa fluvial ante un aumento del 1% en el ahorro que se deriva de utilizar esta alternativa respecto al precio de la alternativa actual. Es así que para un nivel de ahorro del 40%, el modelo *mixed logit* predice

que un aumento del ahorro en tarifa de 1% aumenta la posibilidad de utilizar la alternativa fluvial en 0,61%. Además, mientras en el modelo *logit* la elasticidad permanece relativamente estable o con variaciones pequeñas para los diferentes niveles de ahorro, en el modelo *mixed logit* tiende a disminuir a medida que aumenta el ahorro en la tarifa fluvial, fenómeno que también está presente en los resultados de Train y Wilson (2004 y 2007).

En términos absolutos, también pueden compararse los escenarios de baja y alta eficiencia para cada una de las variables. En el caso de la confiabilidad, esta es la mejor forma de evaluar su variación debido a que la encuesta solo consideró atributos para dos niveles de la variable. Su probabilidad predicha al pasar del escenario de baja eficiencia (75% de confiabilidad) a uno de alta eficiencia (100% de confiabilidad) aumenta 4,6 puntos porcentuales (pp). En el caso de la tarifa, pasar de 10% a 40% de ahorro aumenta la probabilidad predicha en 14 pp. En el caso del tiempo, pasar de ocho a cuatro días adicionales de duración aumenta la probabilidad predicha en 10,4 pp.

A la luz de estos resultados, la tarifa de los servicios de carga por la alternativa intermodal que combina la carretera y el Río Magdalena sería el factor más importante para los transportadores. Así mismo, el tiempo que demora el recorrido sigue teniendo una importancia alta.

## VIII. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El Proyecto de Rehabilitación de la Navegabilidad en el Río Magdalena propiciará el desarrollo de la oferta de servicios de transporte de carga multimodal en Colombia. Es de esperarse que se genere cierto nivel de competencia entre el modo carretero y el modo fluvial para algunos tipos de productos transportados desde y hacia el interior del país, especialmente para comercio exterior. En el caso de Bogotá, la demanda de transporte fluvial estará determinada principalmente por el nivel de servicio que las operaciones a través del río ofrezcan, especialmente respecto a tarifas, tiempos de viaje y confiabilidad. En este aspecto, las obras contempladas en el PRNRM solo son el punto de partida para una serie de inversiones adicionales que deberán hacerse en las vías de conexión entre Bogotá y el río, y los puertos fluviales. De esta forma se agilizarán las operaciones de cargue, descargue y almacenamiento de mercancías. Sobre este último punto, el gobierno nacional adelanta una estrategia de concesiones para la construcción y modernización de puertos cuyos impactos esperados todavía no son claros.

La reducción en los costos logísticos que genera el proyecto, si bien es un componente muy importante del PRNRM, no es para muchas empresas el único determinante en la decisión de cambiarse al modo fluvial. Las inversiones que se hagan en reducción de la duración del recorrido, tanto en tiempo de espera como de viaje, también incidirán de manera notable en la decisión del modo de transporte de mercancías que tomen las empresas.

Finalmente, los modelos de elección discreta que utilizan información desagregada a nivel de firma son una herramienta con gran potencial para evaluar la demanda de carga que generan proyectos e inversiones en el sector transporte. Un elemento clave para poder utilizar estos modelos es asegurar que la información que captura las preferencias sea de alta calidad. La encuesta realizada para el presente estudio revela algunas inconsistencias que sugieren que la precisión de los coeficientes estimados y las probabilidades predichas no es la mejor. Sin embargo, el modelo *mixed logit* matiza estos problemas y muestra que hay bastante heterogeneidad en las preferencias de las firmas y que esta metodología describe mejor el proceso de elección individual. A futuro, gran parte del éxito de esta metodología consistirá en diseñar procedimientos rigurosos de recolección de información que garanticen que las encuestas presenten escenarios fáciles de entender y que describan las alternativas a disposición de forma verídica. Además, es importante destinar recursos para lograr tamaños de muestra que reflejen de forma precisa la composición y preferencias de los agentes del sector del transporte de carga.

## REFERENCIAS

- Arvis, Jean-Francois, Daniel Saslavsky, Lauri Ojala, Ben Shepherd, Christina Busch, and Anasuya Raj (2014), *Connecting to Compete 2014: Trade Logistics in the Global Economy*, Washington: The World Bank.
- Cárdenas, Mauricio, Alejandro Gaviria, y Marcela Meléndez (2005), “La infraestructura de transporte en Colombia”, *Cuadernos de FEDESARROLLO*, No. 17.
- Castro, Felipe, Helena García, y Juan Benavidez (2015), *Estudio de impacto socioeconómico para el proyecto de recuperación de la navegabilidad por el río Magdalena*, Bogotá: Fedesarrollo.
- Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena (Cormagdalena) (2013), “Bases de preclasificación No. 01 de 2013. Anexo 2”, *Detalles del*

- Proceso Número APP-001-2013*, [Disponible en: <https://www.contratos.gov.co/consultas/detalleProceso.do?numConstancia=13-19-1390566>].
- Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena (Cormagdalena), y Navelena S.A.S. (2014), *Contrato de Asociación Público Privada para el Proyecto de Recuperación de la Navegabilidad del Río Magdalena*, Contrato app No. 001 de 2014.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP) (2011), *Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2010 – 2014: Prosperidad para todos. Más empleo, menos pobreza y más seguridad*, Bogotá: Departamento Nacional de Planeación.
- Empresas de Desarrollo Participativo (EMDEPA) (2011), *Diseño de las obras de encauzamiento del Río Magdalena entre Puerto Salgar - Puerto Berrio*.
- Feo-Valero, María, Leandro García Menéndez, and Rodrigo Garrido-Hidalgo (2011), “Valuing Freight Transport Time using Transport Demand Modelling: A Bibliographical Review”, *Transport Reviews*, Vol. 31, No. 5.
- García-Menéndez, Leandro, Inmaculada Martínez-Zarzoso, y Delia Piñero de Miguel (2004), “Determinants of Mode Choice between Road and Shipping for Freight Transport: Evidence for Four Spanish Exporting Sectors”, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 38, No. 3.
- Hensher, David, William H. Greene (2001), “The Mixed Logit Model: The State of Practice and Warnings for the Unwary”, *Working Paper*, School of Business, The University of Sydney.
- Higuera, Edgar (2014), “Río Grande de la Magdalena: Arteria para la integración del país”, *Revista ANDI*, No. 245.
- Hole, Arne Risa (2007), “Fitting mixed logit models by using maximum simulated likelihood”, *The Stata Journal*, Vol. 7, No. 3.
- McFadden, Daniel (1974), “Conditional Logit Analysis for Qualitative Choice Behavior, in Paul Zarembka (editor), *Frontiers in econometrics*, New York: Academic Press.
- McFadden, Daniel, Kenneth Train (2000), “Mixed MNL Models for Discrete Response”, *Journal of Applied Econometrics*, Vol. 15, No. 5.
- Notteboom, Theo (2012), “Challenges for Container River Services on the Yangtze River: A Case Study for Chongqing”, *Research in Transportation Economics*, Vol. 35, No. 1.
- Ortúzar, Juan de Dios, and Luis G. Willumsen (2011), *Modelling transport*, 4th edition, Oxford: Wiley-Blackwell, [Disponible en: <http://site.ebrary.com/id/10510502>].

- Quinet, Emile, and Roger Vickerman (2004), *Principles of Transport Economics*, Cheltenham and Northampton: Edward Elgar.
- Secretaría de Distrital de Desarrollo Económico (s.f.), *Comercio Exterior*, [Disponible en: <http://observatorio.desarrolloeconomico.gov.co/portal/tema.sbi?idPalabraSeleccionada=54>].
- Steer Davies Gleave (2014), *Estudio de Demanda del Sistema Fluvial del Río Magdalena y Evaluación Beneficio Costo de un Esquema de Reactivación de la Navegación Fluvial*.
- Steer Davies Gleeve, e Hidroestudios (2002), *Estudio de demanda y plan para la recuperación del Transporte Fluvial en el Río Magdalena*, Manuscrito no publicado.
- Train, Kenneth (2009), *Discrete choice methods with simulation*, 2nd edition, Cambridge and New York: Cambridge University Press.
- Train, Kenneth, and Wesley W. Wilson (2004), *Shippers' Responses to Changes in Transportation Rates and Times: The Mid-America Grain Study*, Alexandria, Virginia: Institute for Water Resources, US Army Corps of Engineers.
- Train, Kenneth, and Wesley W. Wilson (2007), *Transportation Demands for the Movement of Non-Agricultural Commodities Pertinent to the Upper Mississippi and Illinois River Basin*, US Army Corps of Engineers.
- Train, Kenneth, and Wesley W. Wilson (2008), "Estimation on stated-preference experiments constructed from revealed-preference choices", *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 42, No. 3.

## ANEXO

*Escenarios para la alternativa fluvial preguntados en la encuesta*

Escenario	Tarifa	Tiempo	Confiabilidad	Regularidad
1	40% menos que a. a.	96 horas (4 días) más que a. a.	95% entregas a tiempo	2 servicios/semana
2	40% menos que a. a.	144 horas (6 días) más que a. a.	95% entregas a tiempo	2 servicios/semana
3	40% menos que a. a.	192 horas (8 días) más que a. a.	95% entregas a tiempo	2 servicios/semana
4	30% menos que a. a.	192 horas (8 días) más que a. a.	95% entregas a tiempo	2 servicios/semana
5	20% menos que a. a.	96 horas (4 días) más que a. a.	95% entregas a tiempo	2 servicios/semana
6	10% menos que a. a.	96 horas (4 días) más que a. a.	95% entregas a tiempo	2 servicios/semana
7	10% menos que a. a.	144 horas (6 días) más que a. a.	95% entregas a tiempo	2 servicios/semana
8	40% menos que a. a.	96 horas (4 días) más que a. a.	95% entregas a tiempo	1 servicio/semana
9	40% menos que a. a.	192 horas (8 días) más que a. a.	95% entregas a tiempo	1 servicio/semana
10	40% menos que a. a.	96 horas (4 días) más que a. a.	75% entregas a tiempo	2 servicios/semana
11	40% menos que a. a.	192 horas (8 días) más que a. a.	75% entregas a tiempo	2 servicios/semana
12	10% menos que a. a.	96 horas (4 días) más que a. a.	75% entregas a tiempo	2 servicios/semana

Nota: a.a. = alternativa actual

Fuentes: Elaboración propia con base en datos de encuesta de preferencias.