

Aprendizaje de Máquinas Aplicado al Análisis de Poder de Mercado en el Mercado Eléctrico

Álvaro Riascos ¹ Julián Chitiva ² Hamadys Benavides ²

¹Universidad de los Andes y Quantil

²Quantil

II Foro XM

Septiembre 5 - 6 de 2019

1 Introducción

2 Metodología

- Indicadores
- Validación
- Aprendizaje de máquinas

3 Monitoreo

- La liberalización del sector eléctrico ha tenido como uno de sus principales propósitos promover la **eficiencia** de la prestación de un servicio esencial para la sociedad, de forma confiable, con calidad, etc.
- Desde un punto de vista económico, en mercados descentralizados la prescripción normativa es promover la competencia (i.e., mitigar el **poder de mercado**).

- La liberalización del sector eléctrico ha tenido como uno de sus principales propósitos promover la **eficiencia** de la prestación de un servicio esencial para la sociedad, de forma confiable, con calidad, etc.
- Desde un punto de vista económico, en mercados descentralizados la prescripción normativa es promover la competencia (i.e., mitigar el **poder de mercado**).

- Cómo garantizar una operación eficiente en un mercado con la características propias del mercado eléctrico:
 - 1 Demanda inelástica.
 - 2 Concentración de mercado.
 - 3 Altos costos de almacenamiento.

- El modelo de Cournot como forma de racionalizar el problema y la propuesta de solución.
- Un mercado con pocas firmas en competencia a la Cournot.
- En equilibrio:

$$\text{Markup} \equiv \frac{P - CM_i}{P} = -\frac{1}{\epsilon} \frac{Q_i}{Q}$$

- CM_i es el costo marginal del recurso i .
- P es el precio de bolsa.
- ϵ es la elasticidad de la demanda del mercado.
- Q_i disponibilidad del recurso i .
- Q demanda agregada.

- El modelo de Cournot como forma de racionalizar el problema y la propuesta de solución.
- Un mercado con pocas firmas en competencia a la Cournot.
- En equilibrio:

$$\text{Markup} \equiv \frac{P - CM_i}{P} = -\frac{1}{\epsilon} \frac{Q_i}{Q}$$

- CM_i es el costo marginal del recurso i .
- P es el precio de bolsa.
- ϵ es la elasticidad de la demanda del mercado.
- Q_i disponibilidad del recurso i .
- Q demanda agregada.

- El modelo de Cournot como forma de racionalizar el problema y la propuesta de solución.
- Un mercado con pocas firmas en competencia a la Cournot.
- En equilibrio:

$$\text{Markup} \equiv \frac{P - CM_i}{P} = -\frac{1}{\epsilon} \frac{Q_i}{Q}$$

- CM_i es el costo marginal del recurso i .
- P es el precio de bolsa.
- ϵ es la elasticidad de la demanda del mercado.
- Q_i disponibilidad del recurso i .
- Q demanda agregada.

- El modelo de Cournot como forma de racionalizar el problema y la propuesta de solución.
- Un mercado con pocas firmas en competencia a la Cournot.
- En equilibrio:

$$\text{Markup} \equiv \frac{P - CM_i}{P} = -\frac{1}{\epsilon} \frac{Q_i}{Q}$$

- CM_i es el costo marginal del recurso i .
- P es el precio de bolsa.
- ϵ es la elasticidad de la demanda del mercado.
- Q_i disponibilidad del recurso i .
- Q demanda agregada.

- Existe un consenso en la necesidad de introducir un mecanismo de monitoreo y seguimiento del mercado tal que:
 - ❶ Permita identificar potenciales **abusos** de poder de mercado.
 - ❷ Introduzca medidas de mitigación ex ante y/o punitivas expost.
- Ejemplos: OFGEM (Gran Bretaña), Nordpool (países Escandinavos), FERC (Estados Unidos), NYISO (Nueva York), PJM (Centro Estados Unidos) CAISO (California), etc.

- Existe un consenso en la necesidad de introducir un mecanismo de monitoreo y seguimiento del mercado tal que:
 - 1 Permita identificar potenciales **abusos** de poder de mercado.
 - 2 Introduzca medidas de mitigación ex ante y/o punitivas expost.
- Ejemplos: OFGEM (Gran Bretaña), Nordpool (países Escandinavos), FERC (Estados Unidos), NYISO (Nueva York), PJM (Centro Estados Unidos) CAISO (California), etc.

Internacional

- Twomey, Green, Neuhoff y Newbery. 2005. Review of the Monitoring of Market Power. *Journal of Economic Literature*.
- Wolak. 2003. Measuring Unilateral Market Power in Wholesale Electricity Markets: The California Market: 1998-2000. *American Economic Review*.
- Newbery. 2008. Predicting Market Power in Wholesale Electricity. *Cambridge Working Papers in Economics Markets*.
- Swinand, Scully, Foulkes, Kessler. 2007. Structure and Performance of Six European Wholesale Electricity Markets in 2003, 2004, and 2005. *London Economics*.

Colombia

- Botero, García, Vélez. 2013. Mecanismos utilizados para monitorear el poder de mercado en mercados eléctricos: Reflexiones para Colombia. Cuadernos de Economía.
- Medidas para la Promoción de la Competencia en el Mercado Mayorista de Electricidad. 2010. Documento CREG - 118.

1 Introducción

2 Metodología

- Indicadores
- Validación
- Aprendizaje de máquinas

3 Monitoreo

En una cáscara de nuez...

- 1 Construcción indicadores de competencia (IOR).
- 2 Validación de la relevancia de los indicadores (dependencia del IOR con markups y contratos).
- 3 Hacia una metodología de detección y generación de alertas basada en aprendizaje de máquinas.

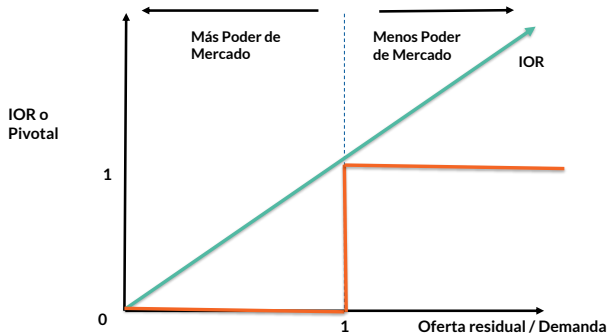
Indicador de oferta residual

- El IOR del recurso i se define como:

$$IOR = \frac{\sum_j Q_j - Q_i}{Q}$$

- Es una generalización continua de concepto de agente pivotal.

IOR vs Agente Pivotal



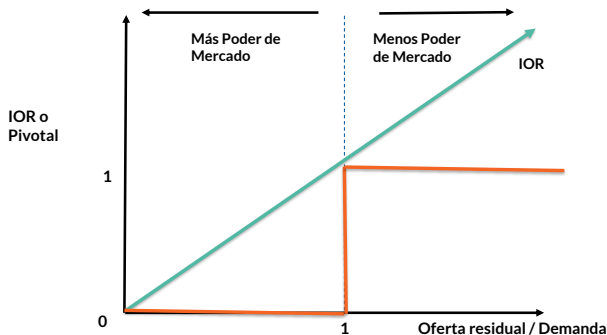
Indicador de oferta residual

- El IOR del recurso i se define como:

$$IOR = \frac{\sum_j Q_j - Q_i}{Q}$$

- Es una generalización continua de concepto de agente pivotal.

IOR vs Agente Pivotal



- Teoría (el modelo de Cournot nuevamente):

$$\text{Markup} \equiv \frac{P - CM_i}{P} = -\frac{1}{\epsilon}(1 - IOR_i)$$

- Incluimos importaciones y excluimos recursos determinísticos (no restamos los contratos al no existir información pública horaria - subestimamos el IOR).
- No tenemos información de mantenimientos (no es pública) ni fallas (sobrestimamos la oferta residual y por lo tanto el IOR).

- Teoría (el modelo de Cournot nuevamente):

$$\text{Markup} \equiv \frac{P - CM_i}{P} = -\frac{1}{\epsilon}(1 - IOR_i)$$

- Incluimos importaciones y excluimos recursos determinísticos (no restamos los contratos al no existir información pública horaria - subestimamos el IOR).
- No tenemos información de mantenimientos (no es pública) ni fallas (sobrestimamos la oferta residual y por lo tanto el IOR).

- Teoría (el modelo de Cournot nuevamente):

$$\text{Markup} \equiv \frac{P - CM_i}{P} = -\frac{1}{\epsilon}(1 - IOR_i)$$

- Incluimos importaciones y excluimos recursos determinísticos (no restamos los contratos al no existir información pública horaria - subestimamos el IOR).
- No tenemos información de mantenimientos (no es pública) ni fallas (sobrestimamos la oferta residual y por lo tanto el IOR).

- Teoría (el modelo de Cournot nuevamente):

$$\text{Markup} \equiv \frac{P - CM_i}{P} = -\frac{1}{\epsilon}(1 - IOR_i)$$

- Incluimos importaciones y excluimos recursos determinísticos (no restamos los contratos al no existir información pública horaria - subestimamos el IOR).
- No tenemos información de mantenimientos (no es pública) ni fallas (sobrestimamos la oferta residual y por lo tanto el IOR).

Indicador de oferta residual: recursos

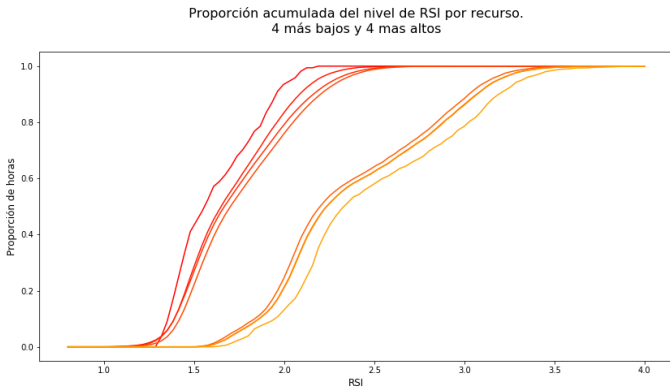


Figura: IOR por recurso

Indicador de oferta residual: agentes

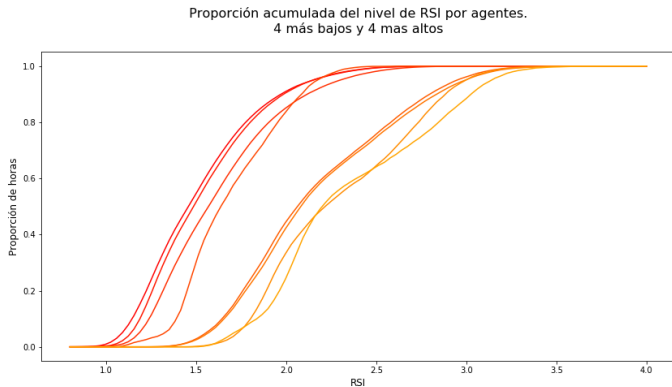


Figura: IOR por agentes

Indicador de oferta residual: agentes horas pico vs. valle

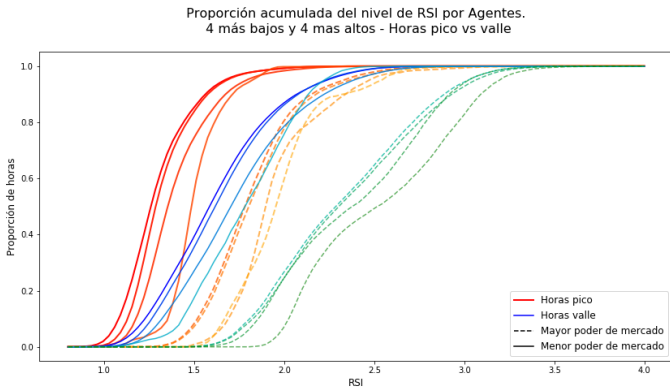


Figura: IOR por agentes horas pico vs. valle

- Tres ideas (evidencia sugestiva):
 - 1 Relación entre markups basados en costos marginales estimados desde un punto de vista de ingeniería (estimación de costos - Riascos, Camelo, de Castro, Oren, Papavasiliou. [2016], [2018]).
 - 2 Markups basados en costos marginales estimados desde un punto de vista económico (i.e., costos revelados en un modelo de competencia - Carranza, Martin, Riascos [2019] y Garcia-Rendón, Pérez-Libreros [2019]).
 - 3 Relación con contratos.

- Tres ideas (evidencia sugestiva):
 - 1 Relación entre markups basados en costos marginales estimados desde un punto de vista de ingeniería (estimación de costos - Riascos, Camelo, de Castro, Oren, Papavasiliou. [2016], [2018]).
 - 2 Markups basados en costos marginales estimados desde un punto de vista económico (i.e., costos revelados en un modelo de competencia - Carranza, Martin, Riascos [2019] y Garcia-Rendón, Pérez-Libreros [2019]).
 - 3 Relación con contratos.

- Tres ideas (evidencia sugestiva):
 - 1 Relación entre markups basados en costos marginales estimados desde un punto de vista de ingeniería (estimación de costos - Riascos, Camelo, de Castro, Oren, Papavasiliou. [2016], [2018]).
 - 2 Markups basados en costos marginales estimados desde un punto de vista económico (i.e., costos revelados en un modelo de competencia - Carranza, Martin, Riascos [2019] y Garcia-Rendón, Pérez-Libreros [2019]).
 - 3 Relación con contratos.

- Tres ideas (evidencia sugestiva):
 - 1 Relación entre markups basados en costos marginales estimados desde un punto de vista de ingeniería (estimación de costos - Riascos, Camelo, de Castro, Oren, Papavasiliou. [2016], [2018]).
 - 2 Markups basados en costos marginales estimados desde un punto de vista económico (i.e., costos revelados en un modelo de competencia - Carranza, Martin, Riascos [2019] y Garcia-Rendón, Pérez-Libreros [2019]).
 - 3 Relación con contratos.

Relación con markups: Ingeniería

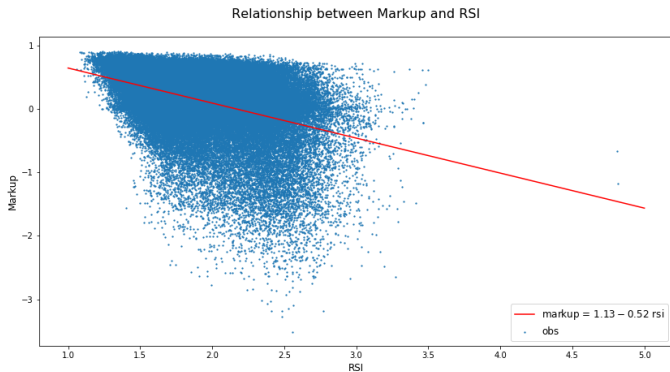


Figura: IOR por agentes

Relación con contratos: disponibilidad (neta de contratos)

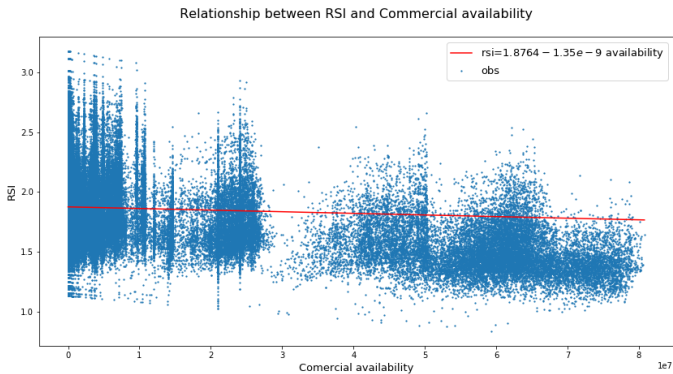


Figura: IOR por agentes

- La estrategia general de detección de anomalías en los datos es una tarea estándar y muy estudiada en aprendizaje de máquinas.
- Ejemplos:
 - 1 Sistemas de administración de riesgo de lavado de activos y financiación del terrorismo (SARLAFT - Superintendencia Financiera).
 - 2 Anomalías en la información de la base de suficiencia del Ministerio de Protección Social.

- La estrategia general de detección de anomalías en los datos es una tarea estándar y muy estudiada en aprendizaje de máquinas.
- Ejemplos:
 - 1 Sistemas de administración de riesgo de lavado de activos y financiación del terrorismo (SARLAFT - Superintendencia Financiera).
 - 2 Anomalías en la información de la base de suficiencia del Ministerio de Protección Social.

Interludio: Cuatro lecciones del aprendizaje de máquinas

- Enfatizar la diferencia y/o relación entre causalidad y predicción.
- El problema de aproximación y estimación.
- Regularización.
- Validación cruzada.

Interludio: Cuatro lecciones del aprendizaje de máquinas

- Enfatizar la diferencia y/o relación entre causalidad y predicción.
- El problema de aproximación y estimación.
- Regularización.
- Validación cruzada.

Interludio: Cuatro lecciones del aprendizaje de máquinas

- Enfatizar la diferencia y/o relación entre causalidad y predicción.
- El problema de aproximación y estimación.
 - Regularización.
 - Validación cruzada.

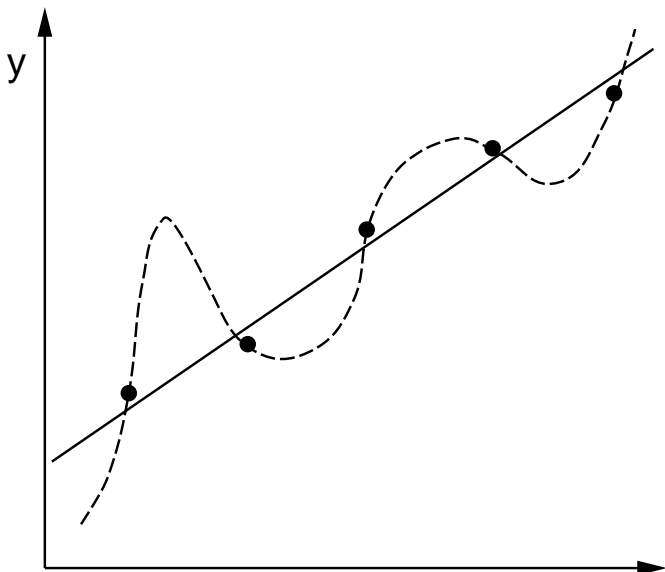
Interludio: Cuatro lecciones del aprendizaje de máquinas

- Enfatizar la diferencia y/o relación entre causalidad y predicción.
- El problema de aproximación y estimación.
- Regularización.
- Validación cruzada.

Interludio: Cuatro lecciones del aprendizaje de máquinas

- Enfatizar la diferencia y/o relación entre causalidad y predicción.
- El problema de aproximación y estimación.
- Regularización.
- Validación cruzada.

Interludio: El problema de aproximación y estimación



Interludio: El problema de aproximación y estimación

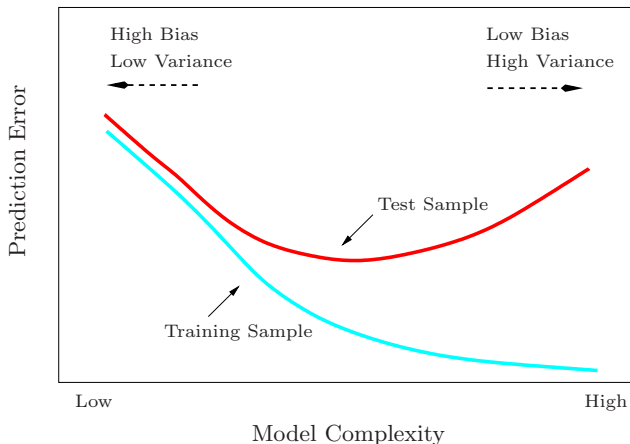


FIGURE 2.11. Test and training error as a function of model complexity.

Figura: Aproximación y estimación

- El problema de optimización:

$$\min_{(\beta_0, \beta)} \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N (y_{it} - \beta_0 - \mathbf{x}_{it}^T \beta + R_i)^2 + \lambda \|\beta\|_1 \quad (1)$$

- Los hiperparámetros se eligen con validación cruzada.

Distribución del MAPE

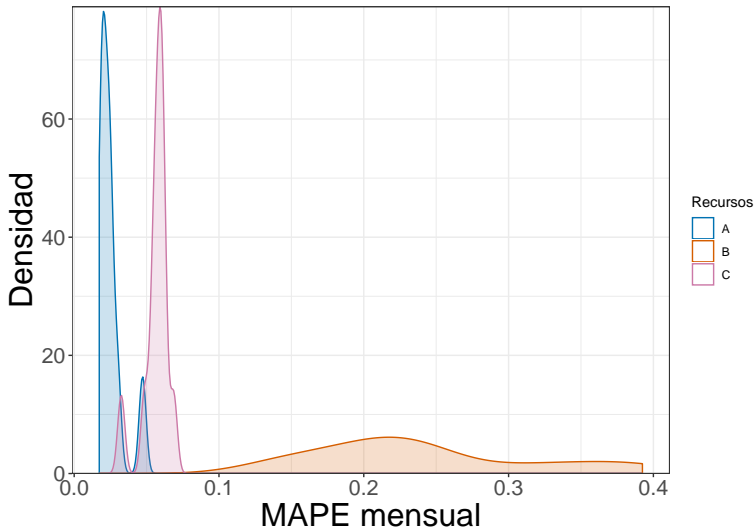


Figura: Desempeño predictivo

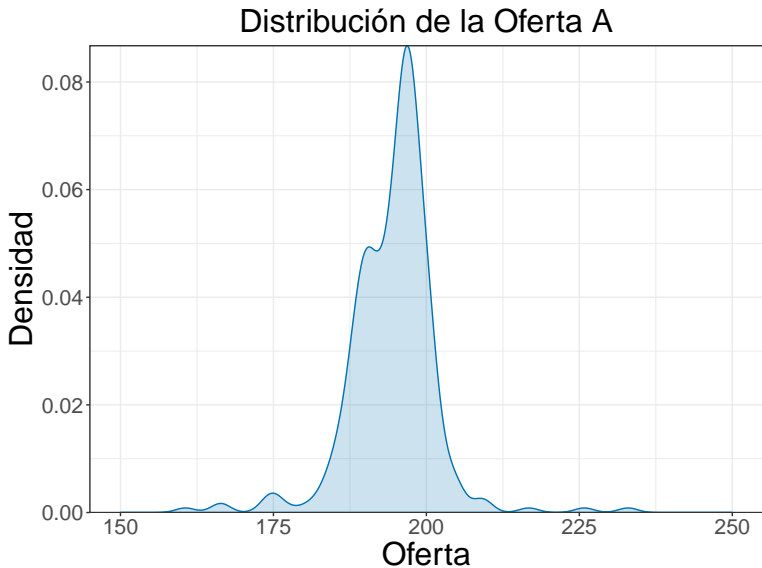


Figura: Distribución de la oferta A

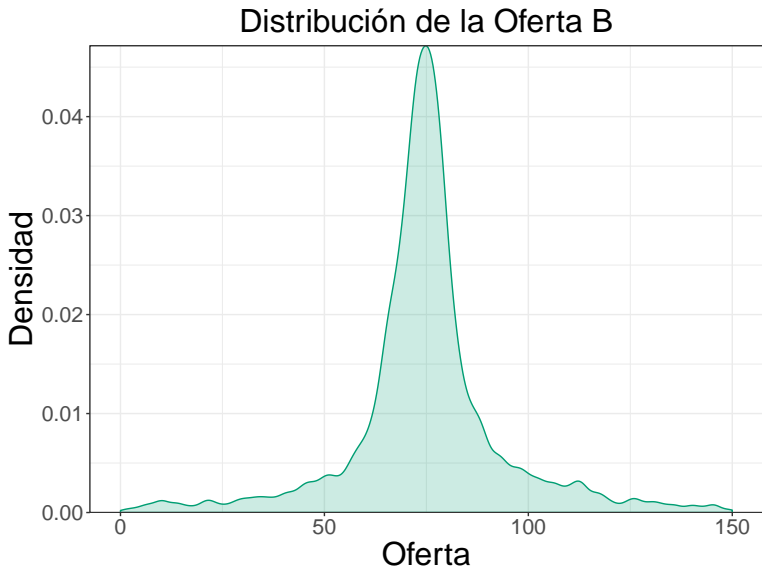


Figura: Distribución de la oferta B

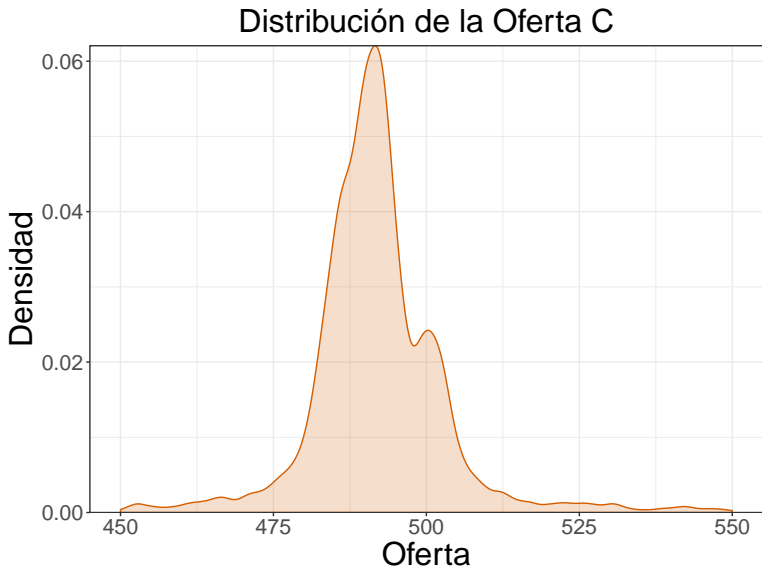


Figura: Distribución de la oferta C

1 Introducción

2 Metodología

- Indicadores
- Validación
- Aprendizaje de máquinas

3 Monitoreo

Hacia una propuesta de monitoreo

- Prueba de conducta:
 - 1 Identificar aquellos agentes *pivotales* (bajo IOR).
 - 2 Entre los pivotales, identificar aquellos que potencialmente pudieron haber abusado de su poder de mercado (detección de anomalías en las ofertas).
 - 3 Generar alertas ex-ante.
- Prueba de impacto.

Hacia una propuesta de monitoreo

- Prueba de conducta:
 - 1 Identificar aquellos agentes *pivotales* (bajo IOR).
 - 2 Entre los pivotales, identificar aquellos que potencialmente pudieron haber abusado de su poder de mercado (detección de anomalías en las ofertas).
 - 3 Generar alertas ex-ante.
- Prueba de impacto.

www.alvaroriasco.com