

Innovación e Incentivos dentro de las Organizaciones: Una estimación predicativa con modelos de Machine Learning

Andres Ochoa Arango^{*}

16 de agosto de 2022

1. Introducción

El estudio de los factores que influyen en la capacidad productiva y el rendimiento de una empresa son de gran relevancia en el entorno corporativo. De esta forma se puede ver con una perspectiva más clara los puntos en los que un empresario debería enfocarse para mejorar la productividad y la eficiencia de la empresa. Durante los últimos años, las herramientas tecnológicas se han presentado en las cadenas productivas de las organizaciones buscando realizar procesos que sean eficientes. Estos procesos se traducen en menores costos y en productos de mayor calidad y con un nivel de diferenciación mayor (Process Innovation / Product Innovation).

Algunos postulados que muestran la importancia de la innovación dentro del sistema económico son desarrollados por Schumpeter, en los cuales, presenta a la innovación como una variable central del análisis económico que tiene la capacidad de transformar la productividad. Este autor coloca al empresario innovador como el actor principal a la hora de tomar decisiones en términos estratégicos, enfatizando en los incentivos que se crean dentro del ámbito empresarial (Olaya, 2008).

Por otro lado, una variable que se encuentra dentro de los procesos de la mayoría de las organizaciones es el capital humano. Para poder utilizar de una manera eficiente la tecnología y el capital físico disponible en la empresa, las estrategias para incentivar las actividades de los empleados deben ser tomadas en consideración. En gran parte de los países de vía de desarrollo, uno de los factores productivos más abundantes es el capital humano, convirtiendo las actividades que realiza un punto clave para la utilización de las herramientas tecnológicas. Para este caso, se estudió la relevancia de los incentivos hacia los trabajos (Gerentes y no gerentes) en la productividad dentro de una organización.

Para finalizar esta parte introductoria, estas actividades que tiene como pilar fundamental la innovación no es ajenas al tejido empresarial colombiano. Durante los últimos años, la iniciativa de algunas entidades de fomentar procesos innovadores dentro de la producción ha convertido que estos cambios técnicos puedan repercutir dentro de la economía nacional, volviendo estas actividades relevantes para su estudio y caracterización (DANE, 2020). La finalidad que tiene el siguiente trabajo, es mostrar de manera empírica los posibles cambios que pueden presentarse dentro las entidades que se encuentran en la encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica, teniendo las variables como las ventas del año $t + 1$, con respecto a las inversiones en diferentes aspectos del periodo t y las variables en temas de incentivos que repercuten en el análisis.

2. Revisión de Literatura

Como se mencionó en la parte introductoria, uno de los principales exponentes en temas de la innovación y su impacto en términos económicos es Joseph Alois Schumpeter. Su teoría introduce como eje central del análisis económico la innovación empresarial. Además, realiza la estructura de un término denominado “desenvolvimiento”, el cual, hace referencia a los cambios que puede obtener

^{*}Economista Universidad EAFIT. email: aochoaarango@gmail.com

una economía desde el interior de esta. Más específicamente, todos esos cambios que se presentan al interior del proceso productivo (Olaya, 2008).

Para este trabajo se entiende que la innovación juega un rol fundamental en el desempeño del rendimiento de las empresas según comenta en su trabajo Avendaño (2012). Por lo tanto, al ser la innovación un importante objeto de estudio para el presente trabajo, se adopta la definición presentada por La Rovere y Hasenclever (2003, p.1). Estos autores definen la innovación como “el proceso de creación y adopción de nuevos productos, nuevos procesos y nuevas técnicas organizacionales”.

Uno de los aspectos que se consideran para poder referenciar el desempeño que tiene una empresa se centra en los ingresos que, a su vez, en la gran mayoría de los casos están ligados a las ventas. Dado lo anterior, Benavides y Quintana plantean que uno de los atributos para avanzar en el factor innovación, es el tamaño de la empresa en términos de ingreso (2002. p. 19), por lo que concuerda con el planteamiento de Avendaño C, en que los procesos innovadores se presentan en gran medida en las entidades que se poseen un nivel de ingresos mayores (Avendaño, 2012).

Al momento de hablar de procesos innovadores, la diferenciación del producto es una estrategia que está ligada tanto a los cambios en la cadena de valor, como a las actividades de competencia. La adición de herramientas tecnológicas dentro de las organizaciones se puede trasladar a la producción de bienes o servicios con un valor agregado. Si un mercado entra a una competencia monopolista mediante la diferenciación del producto (vertical u horizontal), los actores implicados responderán de tal manera que los equilibrios presentados pueden aumentar el bienestar del consumidor o aumentar los beneficios de las empresas mediante proceso de colusión (Goddard et al, 2009). Es por esto, que la diferenciación del producto es relevante para estudiar los comportamientos de las organizaciones, teniendo presente que cada uno de los mercados tiene características específicas.

Los autores que han realizado trabajos empíricos acerca de la innovación dentro de las organizaciones utilizan herramientas de la teoría de juegos y métodos econométricos para obtener conclusiones acerca de las estrategias que realizan. Qun (2008), presenta mediante un diseño de teoría de juegos, las estrategias óptimas que realizan las industrias sobre la integración del conocimiento (pensamiento innovador). El autor concluye que las estrategias de integración del conocimiento vertical llevan a un equilibrio estable y óptimo, teniendo en cuenta las características en términos de bajos costos de transacción y riesgos que posee este tipo de fusión.

Crowley y Jordan realizan una regresión logística multivariada para medir la relación entre el nivel de competencia y la probabilidad de implementar actividades de ID en la cadena productiva. Utilizando la encuesta BEEPS desarrollada por el Banco Mundial, los autores encontraron que mayores niveles de competencia aumentaban la probabilidad de aumentar sus niveles de innovación. Sin embargo, los resultados no fueron generalizados para toda la muestra, encontrando que los niveles de ID eran mayores para las empresas que competían en el mercado local. Cui et al (2021) han encontrado que el “Organization Capital”¹ contribuye de manera positiva los procesos innovadores. Además, en el trabajo de Zhan et al (2020) se presenta la relevancia de las políticas públicas dentro de las decisiones de ID que realizan las empresas y, Gachanja et al (2020) muestra una influencia entre el aprendizaje de la organización y las actividades de desarrollo innovador centrado en empresas de Kenia.

Otra de las variables que repercuten dentro del sistema productivo de una organización, es su fuerza laboral. Dentro de una estructura empresarial, las funciones que posee un trabajador son de alta importancia para definir la manera en cómo se puede utilizar y combinar de forma eficiente los insumos que requiere cada entidad en específico. Es por esto, que se presenta la necesidad de presentar de qué manera se puede aumentar la productividad desde el aspecto tecnológico y desde el aspecto del capital humano.

Para hablar de los incentivos dentro de las organizaciones, se debe mencionar los postulados mencionados por Gibbs y Lazear (2012). Los autores plantean la importancia que poseen los incentivos dentro del diseño de las organizaciones, llevando a los empleados a trabajar de manera óptima bajo el

¹Se define como la habilidad de convertir varios factores en un bien final. Revisar la definición de (Cui et al., 2021)

sentimiento de ser propietario y sentirse empresario. No obstante, uno de los problemas presentados es el sesgo sobre la medición del rendimiento. Este problema puede ocasionar una sobre vigilancia hacia los empleados volviendo menos eficiente el trabajando, teniendo un resultado opuesto al esperado con la implementación de los incentivos. Los resultados obtenidos por Ariely et al (2009) siguen las conclusiones planteadas por Gibss y Leazer (2012). Mediante unos experimentos desarrollados en India y en Estados Unidos, lo autores presentan que las remuneraciones monetarias excesivas pueden ocasionar un efecto negativo en el desempeño de las empresas.

A pesar de los posibles problemas que se puedan presentar con los sistemas de incentivos, algunos trabajos han estudiado su relación con la productividad dentro de las organizaciones. El trabajo de Leazar (2000), muestra como los cambios de una remuneración por horas a una remuneración por producción (piece-rate), aumentaron en un 22 % la productividad de la empresa Safelite Glass Corporation². Por otro lado, Chung et al (2014) resaltan la importancia de las bonificaciones para así aumentar la productividad, utilizando en este caso un incentivo en forma de bonos para aumentar la fuerza de las ventas.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, ambas variables repercuten en el desempeño de una empresa, lo cual la integración de estas en el espectro empresarial es de alta relevancia a la hora de realizar alguna estrategia de competencia en el mercado. Uno de los trabajos de Nguyen (2018), realiza una estimación empírica sobre la relación entre los incentivos a los CEO y los cambios en términos de la innovación sobre la entidad. El autor encuentra que los aumentos de la innovación se diferencian entre entidades por temas de competencia, sin embargo, presenta que los incentivos de largo plazo a los CEO's están relacionados con aumentos en prácticas que estimulan la innovación dentro de la organización. Estos cambios están identificados con la disminución a la aversión al riesgo, realizando proyectos con una tasa de beneficio mayor en el largo plazo. Es importante mencionar que el autor realizó estimación mediante mínimos cuadrados en 3 etapas, buscando estimar la relación causal existente entre las variables de estudio.

Es importante traer a colación, como lo indica el trabajo de Manso (2017), ambas variables de estudio se pueden relacionar por medio de los líderes dentro de las organizaciones, generando un incentivo a la innovación desde el núcleo de la misma empresa. Es por esto que se ratifica el enfoque de este trabajo bajo el estudio en conjunto de estas dos variables en base a su relación por naturaleza. Del mismo modo Hutchison-Krupat Chao (2014) recalcan en su trabajo el papel indispensable que juegan los incentivos implícitos, y su estrecha relación con los procesos de innovación organizacional.

Los anteriores trabajos han implementado una serie de herramientas que ayudan a obtener conclusiones, que en la mayoría de los casos busca ser causal. Durante los últimos años, con los avances en términos de eficiencia computacional, se han empezado a implementar una serie de modelaciones no paramétricas que ayudan a obtener información estratégica para las organizaciones. Una de las herramientas utilizadas son los modelos de machine learning. Alnafray y Zeno realizan una agrupación (Cluster) de diferentes países en términos de los niveles de innovación implementada. Este trabajo tiene la finalidad de presentar estas herramientas estadísticas a los hacedores de política para realizar estrategias que aceleren los procesos innovadores³.

Behrens realiza una evaluación no paramétrica para predecir los niveles óptimos de exportaciones e importaciones para Alemania utilizando un análisis de serie de tiempo para los años 1970-2017. Las conclusiones arrojan información relevante sobre posibles escenarios la implementación de diferentes políticas comerciales. Por otro lado, algunos trabajos se han centrado en la anticipación de los cambios en las condiciones empresariales con la ayuda de sofisticadas modelaciones estadísticas.

A pesar de todas las posibles aplicaciones que tiene estas herramientas empíricas, el mal uso de estas puede provocar conclusiones erróneas ocasionando implicaciones negativas en términos de política. Rodriguez et al (2021) presentan una guía para la implementación adecuada de estas herramientas, lo cual es tomado en cuenta para la especificación de la estimación empírica de este trabajo.

²El resto del aumento fue causado por otros factores

³Implementan algoritmos de PCA y KNN para realizar la agrupación

3. Datos y Metodología

3.1. Encuesta EDIT

Para la realización de este trabajo empírico se utiliza la información suministrada por la encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica-Industria para los años 2015-2016 y 2017-2018. La información de esta encuesta recopila información sobre las empresas que tienen establecimientos con 10 o más personas ocupadas o que en su defecto registren un valor de producción anual igual o superior a un valor que se especifica para cada año de referencia correspondiente al directorio de empresas de la Encuesta Anual Manufacturera (EAM). Dentro de la encuesta se encuentra información acerca de actividades que tengan en cuenta procesos de innovación, posibles integraciones de productos tecnológico en el sistema productivo, información de incentivos a los gerentes y empleados, sobre estrategias y barreras a la innovación (DANE, 2020).

3.2. Estadística Descriptiva

Adicionalmente, se utiliza un análisis gráfico para mostrar las primeras las características que presentan los datos. Con la finalidad de obtener una segmentación de los datos, se utilizaron la característica del sector productivo y el tamaño de organización para recoger información relevante de los datos. La primera variable, se implementó utilizando las pautas presentadas en el “DECRETO 957 DE 05 JUNIO DE 2019” (Congreso de Colombia, 2019), mostrando los límites de clasificación de las entidades colombianas. Por otro lado, la variable sectorial es implementada por el DANE con el clasificador industrial *CIIU Rev. 4 A.C* (DANE, 2020). Para el caso de los datos suministrados, esta primera parte se centra en las entidades que desarrollan actividades de Elaboración de productos alimenticios (10), Fabricación de sustancias y productos químicos (20), Fabricación de productos de caucho y de plástico (22) y Fabricación de aparatos y equipo eléctrico (27). Para esto se consolida la media de las variables más importantes en términos de innovación y desarrollo.

Tipo de Entidad	Sector	Ventas 2017	Inversión I+D	Empleados I+D	Δ Ventas
Grande	10	384109661,27	734690,44	24,71	0,03
Micro	10	452580,00	400,00	2,00	-0,14
Pequeña	10	4609802,63	75827,00	5,00	0,09
Mediana	10	34260568,64	216720,92	12,68	0,11
Grande	20	187367724,55	561812,91	25,97	0,08
Micro	20	1143876,60	21831,20	2,75	-0,11
Pequeña	20	3341669,41	30204,86	4,40	0,17
Mediana	20	24973286,91	176453,16	9,23	0,04
Grande	22	133134633,71	291075,00	18,14	0,09
Micro	22	585774,00	22000,00	1,00	0,40
Pequeña	22	2959303,56	23632,78	5,11	0,20
Mediana	22	25399077,92	77007,50	5,33	0,03
Grande	27	269669749,63	564744,63	33,75	0,10
Micro	27	165455,00	39560,00	2,00	-0,11
Pequeña	27	2406899,67	47097,00	2,67	-0,05
Mediana	27	20634530,00	147986,94	8,00	0,31

Cuadro 1: Elaboración propia. Datos obtenidos del DANE

Teniendo en cuenta lo presentado en el cuadro 1, se observa cambios en la cantidad de empleados que tienen funciones relacionadas con la innovación y el desarrollo. Las entidades que desarrollan actividades en la industria de fabricación de aparatos y equipos electrónicos tienen en promedio entre 20 y 10 trabajadores más que los otros sectores estudiados. Esto se puede justificar por la característica que poseen los productos, y la necesidad de obtener un diferencial que pueda competir el mercado. Por otro lado, al mirar el cambio porcentual de las ventas (2017-2018), se muestra cambios negativos en las microempresas a diferencia de las otras entidades, lo cual se puede mostrar por el nivel de maduración

de la empresa o por otras variables que no son observadas en los datos.

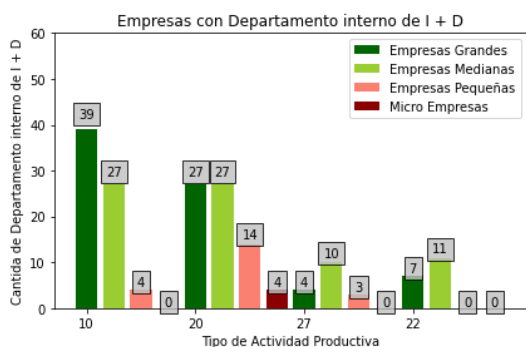


Figura 1: Elaboración propia. Datos obtenidos del DANE

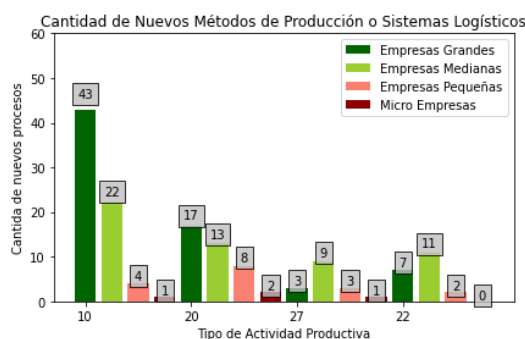


Figura 2: Elaboración propia. Datos obtenidos del DANE

Siguiendo la temática de innovación, mediante los datos se obtuvo información relevante sobre la cantidad de empresas que tiene un Departamento de Innovación y Desarrollo, y sobre la cantidad de nuevos métodos de producción introducidos en la cadena productiva. Realizando la segmentación entre tamaño de la entidad y sector productivo, se presenta que las entidades grandes y medianas que se encuentran en el sector de producción de alimentos y bebidas ingresar en promedio más métodos a su cadena valor. Lo cual, se puede deber a la necesidad de crear economías de escala. Por otro lado, observando la información sobre si la entidad posee algún departamento de I+D, se puede observar que las empresas pequeñas que producen sustancias químicas tienen una cantidad superior de departamentos en comparación con otras entidades del mismo tamaño, pero de sectores diferentes.

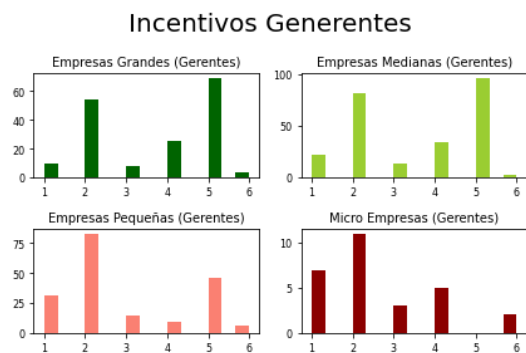


Figura 3: Elaboración propia. Datos obtenidos del DANE

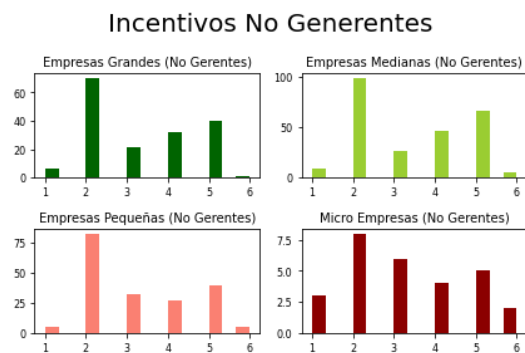


Figura 4: Elaboración propia. Datos obtenidos del DANE

Para terminar el análisis descriptivo, se presenta el porcentaje de empleados (gerentes y no gerentes) que obtuvieron una bonificación por las metas alcanzadas. Esta parte tiene una segmentación únicamente por el tamaño de la empresa. La figura 3 y 4 muestra la información donde la cantidad de empresas que realizaron incentivos durante el periodo estudiado. Los gráficos se interpretan de la siguiente manera, 1 = 0 % de los empleados fueron incentivados por un bono, 2 = 1-33 %, 3 = 34-66 %, 4 = 67-99 %, 5 = 100 % y 6 = No se alcanzaron los objetivos de producción.

Utilizando las gráficas podemos observar un diferencial entre las bonificaciones entre los gerentes y no gerentes. Para los primeros, en las empresas grandes y medianas hay una mayor concentración en bonificaciones del 100 % para los gerentes. Además, es importante resaltar que los porcentajes de bonificación no cambian mucho entre las empresas pequeñas y micro, solo se presenta mayor concentración del porcentaje de bonificación del 100 % en las microempresas.

3.3. Modelo predicativo de tendencias

La estimación de este trabajo consta en la predicción (clasificación) de las tendencias de las ventas para el 2018 con información correspondiente al 2017 en temas de inversión en innovación e incentivos. Para esto se utilizaron 2 modelos. El primero implementa información acerca de la inversión de en ID, cantidad de personas involucradas en temas de investigación e innovación, y diferentes variables de control. Para el caso de los incentivos, se utilizó información de los porcentajes de empleados (gerentes y no gerentes) a los que se les dio una bonificación por desempeño. Para ambos se optó por la utilización principalmente de un modelo de árboles de decisión y su forma más avanzada, Random Forest.

Los modelos utilizados, según Igual y Seguí (2017), son uno de los más intuitivos y su trasfondo se basa en la predicción utilizando una toma de decisiones. El primer paso se basa en la elección de un atributo raíz, para luego, de forma descendente utilizar el resto de los atributos para obtener las predicciones. Por otro lado, el modelo de Random Forest crea una serie de árboles de decisión y la predicción es realizada mediante un proceso de votación que se obtiene de los resultados obtenidos para cada uno de los árboles creados.

La elección de este tipo de modelo está justificada dado la baja complejidad que posee. Además, para obtener resultados más robustos, se implementaron diferentes algoritmos de validación cruzada. Este procedimiento se realiza para evaluar el trade-off existente entre una mayor complejidad del modelo y un nivel de sesgo mayor⁴.

Las tendencias fueron establecidas por el valor de la mediana de las ventas para el año 2018. No se implementó la media por la presencia de valores atípicos. Luego, para realizar la evaluación del modelo de clasificación se tienen en cuenta 2 métricas. Una es accuracy, donde se desea presenta el porcentaje de valores predichos de manera correcta, y la otra se denomina precision, la cual presenta el porcentaje de valores positivos que fueron calificados de manera correcta. Para modelos de clasificación se implementan 2 métricas de evaluación más. Sin embargo, para la estructura de este modelo la evaluación de los falsos positivos (FP) es la prioridad. La presencia de un valor que sea presentado como un FP puede causar inconvenientes en términos estratégicos y monetarios.

4. Resultados

4.1. Innovación

Teniendo en cuenta lo anterior, la estimación para el caso de la innovación tiene 2 partes. Para la primera parte, se debe mencionar que se utilizó la misma encuesta para el año 2015 con la finalidad de obtener más información. Por ende, se realizó la unión de ambos dataframes (DF) con la finalidad de evaluar de qué manera las inversiones en ID en el año t pueden ayudar a predecir las tendencias en el año $t + 1$. Se dividió las bases de datos en tratamiento y test, buscando obtener una sub-muestra que ayudara a la evaluación del modelo y no obtener conclusiones sesgadas. El tamaño de la muestra para la innovación es de 3067 obs.

Los primeros resultados se obtuvieron uniendo ambos DF para obtener las sub-muestras. Para esto se implementó el algoritmo de GridSearchCV, logrando obtener los parámetros que permitieran estimar el modelo de manera óptima⁵. En esta ocasión, se obtuvo un accuracy de 0.735 y una precisión de 0.884. Es importante mencionar, que el modelo tuvo una gran cantidad de valores falsos negativos, dando indicios de que puede existir un modelo que se ajuste mejor a los datos.

Los siguientes resultados se implementan ajustando el modelo con los valores más antiguos (encuesta 2016), para posteriormente predecir las tendencias con los valores más actuales (encuesta 2018). Este cambio en la especificación se realizó buscando ajustarse a los ejercicios estratégicos que se pueden desarrollar en la realidad. Este modelo presenta un accuracy de 0.775 y una precisión de 0.823,

⁴Se utilizó la librería sklearn de python para realizar las estimaciones

⁵Los parámetros del modelo son: 300 árboles con 14 nodos de profundidad

indicando que ambos modelos poseen un nivel de aceptable de accuracy, y la cantidad de valores positivos predichos de manera correcta se encuentra entre 82 % y 88 %.

4.2. Incentivos

Siguiendo la metodología planteada, se implementó las mismas herramientas metodológicas para obtener los resultados utilizando como predicadores diferentes atributos de incentivos. Específicamente, se utilizó la información del porcentaje de empleados a los cuales se les brindó una bonificación por desempeño. La encuesta del año 2015 no incluye información relacionada a los incentivos, por ende, no se realiza el mismo ejercicio planteado para la innovación.

Para esta modelación el tamaño de la muestra es más reducidos, teniendo 1565 observaciones. Esta característica, hace que los resultados esperados sean peores comparados con los modelos de innovación. Sin embargo, se realizó el mismo procedimiento para obtener un modelo óptimo. Los resultados mostraron un accuracy de 0.602 y una precisión de 0.632.

Estos resultados muestran que los modelos pueden llegar a ser relevantes en términos de estrategia. Pero, no son lo suficientemente robustos para la implementación dentro de alguna organización. Dentro de las conclusiones se presenta con más detalle las acciones de mejora que se pueden realizar para este tipo de trabajos.

5. Conclusiones

El estudio de las organizaciones posee una serie de aspectos que son tomados en cuenta para entender su funcionamiento y como se desenvuelven en el mercado. La variable de la innovación interviene en ambos aspectos, logrando competir en el mercado por la diferenciación en el producto o con la implementación de mecanismo innovadores que ayuden a volver más eficiente su cadena de valor. Por otro lado, la economía de la organización se ha centrado en el papel que juega el capital humano en las empresas. Es por esto, que la manera en cómo se incentiva a los empleados para que realicen sus labores de una manera eficiente es un punto importante para el estudio de estrategias que afectan el funcionamiento de la organización.

En conjunto con los postulados teóricos que se han presentado, las herramientas estadísticas son importantes para poder obtener conclusiones que ayuden a la toma de decisiones. Para este caso no se buscó realizar inferencia, solo se intentó realizar algún tipo de predicción que sirva para construir estrategias con un nivel de soporte estadístico. Es en esta parte que se presenta la posibilidad de la implementación de los modelos de Inteligencia Artificial (se incluye modelos de machine learning y deep learning) para el estudio de fenómenos económicos. En este orden de ideas no solo se debe mirar este tipo de modelos para temas de predicción, pues dentro de la ciencia de los datos se presentan una cantidad de herramientas que aportarían a la construcción de modelos econométricos más robustos.

Para finalizar, se presenta la necesidad de mayor cantidad y calidad de datos en este tipo de problemas. El tamaño de las muestras llega a ser un limitante para poder extraer información relevante de los datos. Pero, la presencia de modelos más sofisticados y al mismo tiempo menos interpretables, pueden ayudar a la solución de problemas para los fenómenos donde la fuente de los datos puede llegar a ser escasa. Para los siguientes trabajos, se plantea la obtención de nueva información para tratar estos temas y la implementación de nuevos algoritmos.

Referencias

- [1] Ariely, D., Gneezy, U., Loewenstein, G., Mazar, N. (2009). Large Stakes and Big Mistakes. *The Review of Economic Studies*, 76(2), 451–469. <http://www.jstor.org/stable/40247610>
- [2] Avendaño C., William R..(2012). Innovación: Un Proceso Necesario para las Pequeñas y Medianas Empresas del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander(COLOMBIA). *Semestre Económico*, 15(31), 187-208. Retrieved March 18, 2022, from <https://cutt.ly/EShP0kq>
- [3] Benavides Velasco, Carlos Ángel y Quintana García, Cristina (2002); Regiones en aprendizaje. ¿Una nueva dimensión territorial de la innovación? En: *Boletín Económico de ICE*, No. 2722, p. 19-30.
- [4] Chung, D. J., Steenburgh, T., & Sudhir, K. (2014). Do Bonuses Enhance Sales Productivity? A Dynamic Structural Analysis of Bonus-Based Compensation Plans. *Marketing Science*, 33(2), 165–187. <https://doi-org.ezproxy.eafit.edu.co/10.1287/mksc.2013.0815>
- [5] Congreso de Colombia (5 Julio 2019). Decreto 957 de 05 Junio de 2019”. CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN DE LAS MICRO, PEQUEÑAS, MEDIANAS Y GRANDES. <https://www.mipymes.gov.co/temas-de-interes/definicion-tamano-empresarial-micro-pequena-median>
- [6] Cui, H., Dai, L., Zhang, Y. (2021). Organization Capital and Corporate Innovation: Evidence from China. *Finance Research Letters*, 101956.<https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.101956>
- [7] DANE. (2020). Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas Revisión 4 adaptada para Colombia CIU Rev. 4 A.C. <http://hdl.handle.net/11520/26016>
- [8] DANE. (2020). Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica - EDIT [Conjunto de datos]. <https://microdatos.dane.gov.co/index.php/catalog/MICRODATOS/about>
- [9] Crowley,F. Jordan, D. (2017) Does more competition increase business-level innovation? Evidence from domestically focused firms in emerging economies, *Economics of Innovation and New Technology*, 26:5, 477-488, <https://doi.org/10.1080/10438599.2016.1233627>
- [10] Gachanja, I.M., Nga'nga', S.I., Kiganane, L.N. (2020). Influence of organization learning on innovation output in manufacturing firms in Kenya. *International Journal of Innovation Studies*, 4, 16-26.<https://doi.org/10.1016/j.ijis.2020.02.001>
- [11] Goddard, J. A., Lipczynski, J., Wilson, J. O., Goddard, J. (2009). *Industrial Organization: Competition, Strategy, Policy*. 3rd Edition. Prentice Hall
- [12] Hutchison-Krupat, J., Chao, R. O. (2014). Tolerance for failure and incentives for collaborative innovation. *Production and Operations Management*, 23(8), 1265-1285.
- [13] Igual, L., Seguí, S. (2017). Introduction to Data Science. In: *Introduction to Data Science. Undergraduate Topics in Computer Science*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-50017-1_1
- [14] La Rovere, R., & Hasenclever, L. (2003). Innovación, competitividad y adopción de tecnologías de la información y de la comunicación en pequeñas y medianas empresas: algunos estudios de caso sobre Brasil. *Los límites en la economía del conocimiento*.
- [15] Lazear, E. P. (2000). Performance Pay and Productivity. *The American Economic Review*, 90(5), 1346–1361. <http://www.jstor.org/stable/2677854>
- [16] Lazear, E., Gibbs, M. (2011). *Economía de los recursos humanos en la práctica*. Antoni Bosch Ed. S. A.
- [17] Manso, G. (2017). Creating incentives for innovation. *California Management Review*, 60(1), 18-32.
- [18] Nguyen, T. (2018), CEO Incentives and Corporate Innovation. *Financial Review*, 53: 255-300. <https://doi.org/10.1111/fire.12144>

- [19] Olaya Dávila, A. (2008). Economía de la innovación y del cambio tecnológico: una aproximación teórica desde el pensamiento Schumpeteriano. *Revista Ciencias Estratégicas*, 237-246.
- [20] Pino-Pinochet, Patricio, Ponce-Donoso, Mauricio, Avilés-Palacios, Carmen, & Vallejos-Barra, Óscar. (2015). Mejoramiento de la productividad en una industria maderera usando incentivo remunerativo. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 17(1), 117-128. Epub 30 de noviembre de 2014.<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2015005000012>
- [21] Qun, C. (2008). A game analysis on industrial cluster innovation process. 2008 International Conference on Management Science and Engineering 15th Annual Conference Proceedings, 1603-1608.
- [22] Zhang, M., & Merchant, H. (2020). A causal analysis of the role of institutions and organizational proficiencies on the innovation capability of Chinese SMEs. *International Business Review*, 29, 101638.<https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2019.101638>

6. Anexos

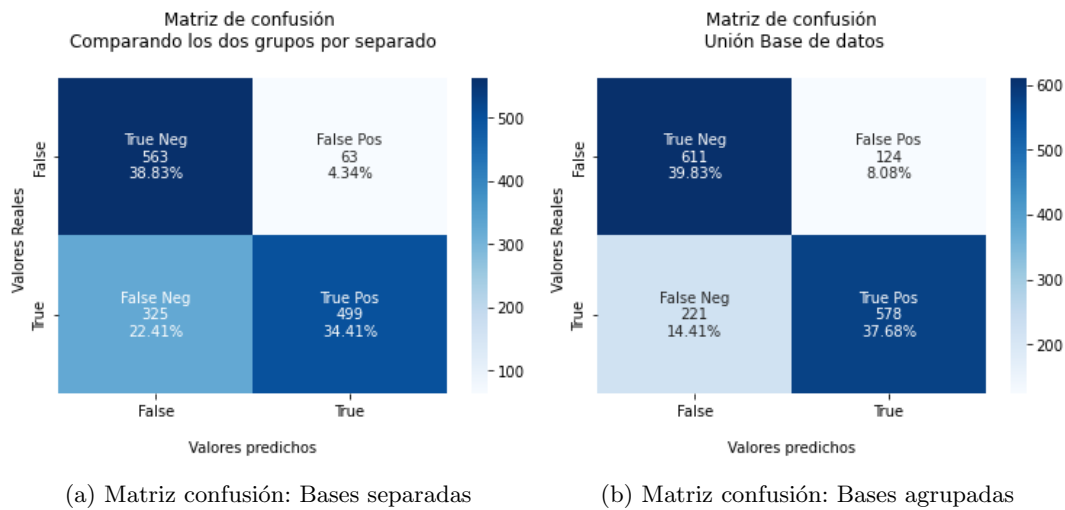


Figura 5: Matrices de confusión; Elaboración propia

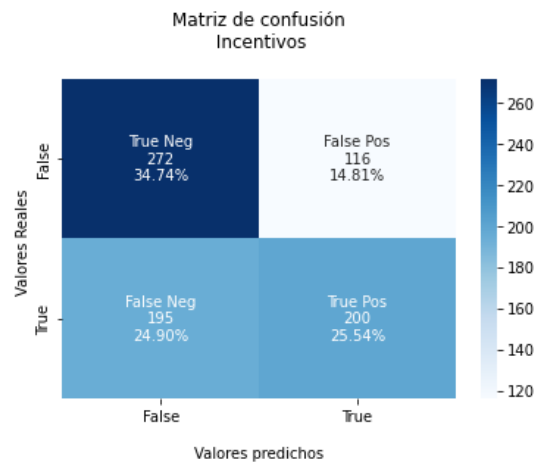


Figura 6: Matriz confusión: Incentivos; Elaboración propia