

REVISTA INDEXADA
ISSN 2602-8085



CIENCIA DIGITAL
FACULTAD DE CIENCIAS ESPOCH
VOLUMEN ESPECIAL
ESTADÍSTICA

Descubrimiento Científico Basado en el uso intensivo de datos

REVISTA MULTIDISCIPLINAR EVALUADA POR PARES

Vol.2 núm. 4.1 (2018): Estadística



Ciencia Digital



Ciencia Digital

 **REVISTA CIENCIA DIGITAL**

La Revista **CIENCIA DIGITAL**, es una Revista multidisciplinaria, Trimestral, que se publicará en soporte electrónico Tiene como misión contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. Publica artículos originales de investigación científica y tecnológica, académicas, revisiones bibliográficas y reflexiones científicas. Todos dirigidos a lectores con instrucción superior, docentes universitarios o no y a quienes se interesen conocer, ampliar y profundizar, desde perspectivas académicas y científicos.

 **ISSN: 2602-8085** Versión Electrónica

Los aportes para la publicación están constituidos por:

 Artículos Originales, Artículos de Revisión, Informes Técnicos, Comunicaciones en congresos, Comunicaciones cortas, Cartas al editor, Estados del arte & Reseñas de libros

EDITORIAL REVISTA CIENCIA DIGITAL



 Efraín Velasteguí López¹

Contacto: Ciencia Digital, Jardín Ambateño, Ambato- Ecuador

Teléfono: 0998235485 - 0958791575

Publicación:

w: www.cienciadigital.org

w: www.cienciadigitaleditorial.com

e: luisefrainvelastegui@cienciadigital.org

Director General

M.Sc. Efraín Velastegui L.

**“Investigar es ver lo que todo el mundo ha visto,
y pensar lo que nadie más ha pensado”.**
Albert Szent-Györgyi

Prologo.

Tecnología e Innovación

El desarrollo de las nuevas tecnologías de la educación y la comunicación han hecho posible la utilización del Internet este medio se ha vuelto muy popular y los más beneficiados en área de la educación, dando lugar a la denominada educación basada en Web o e-learning. Brindado una nueva concepción de la educación mediante la incorporación de nuevas tecnologías al proceso de enseñanza y aprendizaje.

La investigación es una actividad que permite la obtención de nuevo conocimiento permitiendo la solución de problemas con el fin de obtener resultados de la aplicación de métodos científicos para tratar de explicar problemas de la sociedad. La innovación es la creación de algo nuevo permitiendo realizar cambios que conllevan a mejorar

La sociedad requiere ciencia, la tecnología e innovación que son elementos centrales para el desarrollo del conocimiento y la sociedad, permitiendo ser un motor económico de crecimiento de la sociedad que permiten promover la investigación que es fundamental para el desarrollo social, la investigación y la tecnología contribuyen al proceso económico social dando como resultado un sociedad más inclusiva y desarrollada

Está demostrado que hay una relación positiva entre la generación y la explotación del conocimiento y el desarrollo económico de los países, existiendo un interés en mejorar la innovación, con ello generando nuevos productos, diseños, procesos, entre otros, alcanzando un crecimiento económico sustentable



Efraín Velasteguí López¹

EDITORIAL REVISTA CIENCIA DIGITAL

¹ **Efraín Velasteguí López:** Magister en Tecnología de la Información y Multimedia Educativa, Magister en Docencia y Currículo para la Educación Superior, Candidato a Doctor (**PhD**) en Ciencia Pedagógicas por la Universidad de Matanza Camilo Cien Fuegos Cuba, cuenta con más de 50 publicaciones en revista indexadas en Latindex y Scopus, 21 ponencias a nivel nacional e internacional, 13 libros con ISBN, en multimedia educativa registrada en la cámara ecuatoriano del libro, Acreditación en la categorización de investigadores nacionales y extranjeros Registro REG-INV-18-02074, Director, editor de las revistas indexadas en Latindex Catalogo Ciencia digital, Visionario digital y editorial Ciencia Digital Registro Editorial No 663. Cámara ecuatoriana del libro

TABLA DE CONTENIDOS

Artículos	Paginas
Verificación de supuestos en las pruebas de comparación de medias. Una revisión Pablo Flores, Jordi Ocaña, Tania Sánchez	5-22
Análisis cluster de la red de comercio internacional entre 1992 y 2015. Víctor Roberto Morales Oñate, Bolívar Efraín Morales-Oñate	23-41
Comparativa entre classification trees, random forest y gradient boosting; en la predicción de la satisfacción laboral en Ecuador. Vinicio Alexander Andrade Saltos, Pablo Flores M.	42-54
Literatura científica sobre análisis estadístico implicativo: un mapeo sistemático de la década que transcurre. Bryan Marcelo Barragán Pazmiño, Rubén Antonio Pazmiño Maji	55-69
Medición estadística de la calidad del servicio institucional en instituciones de educación superior, a través de la percepción de la satisfacción estudiantil Rolando Chacha, Milton López, Alexandra Viñan	70-93
Uso de la estadística y análisis implicativo para medir la percepción de conocimientos, hábitos y actitudes en consumidores de carne de la ciudad de Riobamba Paola Villalón Muñoz, Marcelo Ramos Flores, Edgar De La Bastida Guerra, Paola Argüello Hernández, Sonia Peñafiel Acosta, Jesús López Salazar, Guido Brito Zúñiga	94-110
Factores que influyen en la producción del plátano en el Ecuador, 2014-2016. Segundo Eduardo Guamán Daquilema, Amalia Isabel Escudero Villa	111-121
Software estadístico Chic: descubriendo sus potencialidades mediante el análisis de percepción sexual universitaria. Rubén Pazmiño, Marina Bonilla, Jenner Baquero, Rogel Miguez	122-139
Aplicación de un diseño experimental completamente al azar para determinar la variabilidad de tamaños en la síntesis de nanopartículas magnéticas de hierro. Francisco Salvador Vera Moreno, Rosa Maricela Ormaza Hugo, Julio Rolando Coello Cabezas, Vilma Nohemí Yanchapanta Bastidas, Sara Esther Gusqui Macas	140-153
Análisis espacial de la tasa de mortalidad infantil. Implementación de modelos de regresión espacial. Tulia Eva Salcedo Palacios, Andrés Felipe Ortiz Rico	154-175

Verificación de supuestos en las pruebas de comparación de medias. Una revisión.



Verification of assumptions in the tests of comparison of means. A review.

Pablo Flores.², Jordi Ocaña.³ & Tania Sánchez⁴

Recibido: 13-07-2017 / Revisado: 07-09-2018 Aceptado: 05-10-2018/ Publicado: 01-11-2018

Abstract.

DOI: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v2i4.1..187>

The Student's t test for the significance of differences between means requires the fulfillment of normality and homoscedasticity assumptions. This paper collects the results of researches showing that when these assumptions are verified by means of other traditional hypothesis tests (e.g., the F or the Levene's test for homoscedasticity; goodness of fit to normality tests...), there is a high risk of a type I error. In addition, these pretesting procedures present some theoretical difficulties. On the other hand, when these assumptions are verified through an equivalence approach, using an appropriate irrelevance interval, these risks are better controlled. As a consequence, the equivalence approach is recommended, instead of the traditional one, whose use is not advisable. Advances in this type of studies and suggestions of future research are presented.

Keywords: equivalence, pre-testing, assumptions, Type I Error, Simulation.

Resumen.

² Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Grupo de Investigación en Ciencia de Datos CITED, Riobamba – Ecuador, p_flores@esPOCH.edu.ec

³ Departament de Genètica, Microbiologia i Estadística, Secció d' Estadística, Universitat de Barcelona, Facultat de Biologia, Barcelona – España, jocana@ub.edu

⁴ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Grupo de Investigación en Ciencia de Datos CITED, Riobamba – Ecuador.

La validez de la prueba t de Student para determinar la existencia de diferencias significativas entre medias está limitada al cumplimiento de los supuestos de normalidad y homocedasticidad. El presente trabajo recopila los resultados de investigaciones que muestran que cuando estos supuestos se verifican mediante otros test de hipótesis tradicionales (por ejemplo, el test F o el test de Levene para la homoscedasticidad; tests de bondad de ajuste a una distribución normal...) existe un alto riesgo de cometer un error tipo I, además de la existencia de dificultades teóricas. Por otra parte cuando los supuestos se verifican mediante un enfoque de equivalencia con adecuados intervalos de irrelevancia, estos riesgos quedan mejor controlados, por lo que se recomienda el uso de este enfoque en lugar del tradicional, el cual se desaconseja. Se presentan los avances realizados en este tipo de estudios así como sugerencias de posibles desarrollos futuros en esta línea.

Palabras clave: equivalencia, pre-testear, supuestos, Error Tipo I, Simulación.

1. Introducción.

La prueba t de Student (Student, 1908) para probar posibles diferencias significativas entre dos medias poblacionales está sujeta a la verificación de los supuestos de normalidad y homocedasticidad. No es extraño encontrar en la mayoría de libros sobre estadística inferencial (Gutierrez, 2008; Triola, 2009; Wackerly, Mendenhall, & Scheaffer, 2010; Wallpole & Myers, 2012) la restricción del uso de esta prueba únicamente para muestras en las que se asume su cumplimiento. Comúnmente, estos supuestos son probados previamente a través de otros test estadísticos, a los cuales llamaremos pre-test. Cuando en un pre-test de normalidad (Shapiro-Wilk, Anderson Darling, Kolmogorov-Smirnov, etc... (Darling & Anderson, 1954; KOLMOGOROV, 1933; Shapiro & Wilk, 1965; Smirnov, 1948)) la hipótesis nula se rechaza, se suele utilizar un test no paramétrico (Wilcoxon, Mann-Whitney,... (Mann & Whitney, 1947; Wilcoxon, 1945)) asumiendo implícitamente robustez ante casos de no homocedasticidad, lo cual no necesariamente es un hecho que se pueda asegurar en estas pruebas. Por otra parte, cuando la mencionada hipótesis nula de perfecta normalidad no se rechaza se suele asumir que existe normalidad y a continuación se realiza sobre la misma muestra un segundo pre-test (F, Levene, Bartlet (Brown & Forsythe, 1974; Snedecor & Cochran, 1989)) para verificar el supuesto de homoscedasticidad. Cuando en este pre-test no existe evidencia para rechazar la hipótesis nula de perfecta igualdad entre varianzas, la t de Student suele ser utilizada, en caso contrario una modificación de esta prueba para datos heteroscedásticos (Test de Welch (Welch, 1951)) se puede considerar como la alternativa adecuada.

A pesar de que el proceso descrito (o alguna variante del mismo) se aplica comúnmente en el ámbito de la estadística inferencial, existen estudios (Albers, Boon, & Kallenberg, 1998;

Hsu, 1938; Overall, John E and Atlas, Robert S and Gibson, 1995; Scheffé, 1970) que muestran que este proceso altera la probabilidad global de cometer un error de Tipo I (TIEP, por sus siglas en inglés), manteniéndola muy alejada del nivel de significancia planteado para la prueba de comparación de medias, especialmente para casos de muestras pequeñas y desbalanceadas. En ocasiones, en estos estudios los autores concluyen advirtiendo de los peligros de pre-testear y recomiendan evitar este proceso y sustituirlo por el uso directo del test de Welch (sin pre-testear), ya que parece ser que esta prueba mantiene estable la TIEP alrededor del nivel de significancia planteado en la prueba de comparación de medias. Al respecto, un estudio (Moder, Rasch, & Kubinger, 2009; Rasch, Kubinger, & Moder, 2011), que estima la TIEP global cuando ambos supuestos son pre-testeados a través de de Kolmogorov – Smirnov y Levene (que es un test que permanece robusto ante desviaciones de la normalidad (Rasch & Guiard, 2004)), usando muestras balanceadas, desbalanceadas y con diferentes niveles de no normalidad y heterocedasticidad, muestra que pre-testear conduce a graves riesgos desconocidos en las probabilidades de cometer un error de tipo I y tipo II, por lo que hacerlo no vale la pena. Aplicar directamente el t de Studento la prueba no paramétrica de Wilcoxon conduce incluso a peores alteraciones de la TIEP, en su lugar la aplicación directa del test de Welch parece ser la mejor opción, aunque se observa que esta deja de ser efectiva para muestras pequeñas y con un grado severo de no normalidad. Otro estudio (Zimmerman, 2004), donde únicamente se pre-testeó el supuesto de homocedasticidad mediante la prueba de Levene tuvo resultados similares, nuevamente el uso directo de Welch resultó ser una alternativa que mantiene controlada la TIEP independientemente del tamaño muestral y el grado de heteroscedasticidad de las muestras. Además se concluyó que, pre-testear, especialmente para muestras pequeñas y desbalanceadas altera significativamente la TIEP, aunque esta empieza a decrecer conforme el nivel de significancia del pre-test es mayor, pero esto a partir del valor poco práctico del nivel de significancia $\alpha = 0.20$.

Aunque estos estudios preliminares muestran que aplicar directamente (sin pre-testear) el test de Welch es una buena opción y además más simple de implementar y aplicar que el proceso de pre-test (Rasch & Schott, 2018), un estudio realizado para comparar más de dos medias (Flores M, 2018) mediante la versión generalizada del test de Welch como alternativa del ANOVA de un factor para muestras heterocedásticas, revela que cuando se verifica el supuesto de homocedasticidad, el procedimiento deja de ser efectivo. Además se confirma que el proceso de pre-testear altera significativamente la TIEP de manera similar a lo que ocurría en el proceso de comparación de dos medias.

Parece ser que existe suficiente evidencia para pensar que pre-testear mediante el enfoque tradicional no es una buena idea. En su libro “Testing statistical hypotheses of equivalence and noninferiority”, (Wellek, 2010) plantea la posibilidad de aplicar pruebas de equivalencia como alternativa a los pre-tests antes citados. En ellas se contrastaría una hipótesis nula que afirma la existencia de un elevado grado de incumplimiento de la condición de validez bajo

estudio (por ejemplo, homoscedasticidad) frente a una alternativa que afirma que este grado de incumplimiento, quizás no sea nulo pero es suficientemente pequeño, irrelevante, como para alterar de forma importante la validez de la prueba t de Student. (La idea de Wellek es de alcance más general, a otras condiciones de validez de técnicas estadísticas, pero aquí nos centramos en el problema de la comparación de medias.)

Parece ser que existe suficiente evidencia para pensar que pre-testear mediante el enfoque tradicional no es una buena idea. El presente artículo de revisión pretende recopilar los fundamentos teóricos que sustentan la validez de un test tanto tradicional como de equivalencia en el proceso de verificación de supuestos, así como los resultados de investigaciones realizadas con el objetivo de determinar la efectividad de estos enfoques en el proceso de pre-testeo para pruebas de comparación de dos medias en el sentido de la medición de la probabilidad de cometer errores. En este sentido, la siguiente sección muestra una argumentación teórica del enfoque tradicional usado para pre-testear los supuestos de normalidad y homocedasticidad. La sección tres muestra un análisis similar pero para el enfoque de equivalencia. La sección cuatro muestra un resumen de los principales resultados de la estimación de la TIEP cuando se pre-testea los supuestos usando ambos enfoques y finalmente la sección cinco muestra algunas conclusiones generales y discusión sobre posibles investigaciones futuras.

1. Verificación de supuestos mediante el enfoque tradicional.

1.1. Respecto al supuesto normalidad

Refiriéndose a la normalidad, (G. E. Box, 1979) mencionó: “*en la vida real no existe una distribución perfectamente normal, sin embargo, con modelos, que se sabe que son falsos, a menudo se puede derivar resultados que coinciden, con una aproximación útil a los que se encuentran en el mundo real*”. Entonces, de acuerdo a lo mencionado por Box, es evidente que los test orientados a probar una perfecta normalidad (como lo hacen los pre-test tradicionales) no tienen sentido, a lo mejor tienen algún tipo de utilidad pero no prueban algo real. En este sentido podríamos mencionar lo que el mismo autor concluyó de forma más general: “*Todos los modelos son erróneos pero algunos son útiles*” (G. Box & Drapper, 1987).

Siguiendo el enunciado de (G. E. Box, 1979), podemos deducir que lo importante no es determinar si una muestra proviene de una perfecta distribución normal –ya sabemos que no. En su lugar lo que verdaderamente importa es saber si la aproximación del modelo para verificar el supuesto es lo suficientemente buena como para ser considerada útil. En este sentido, el criterio de Cochran sugiere que un modelo de prueba de hipótesis puede ser considerado útil o preciso si la TIEP tiene una desviación respecto al nivel de significancia de máximo del 20% de su valor, esto es la TIEP de la prueba tiene que ubicarse dentro del

intervalo $[\alpha \pm 0.2 \alpha]$ (Cochran, 1942). En esencia este mismo criterio es utilizado para definir la robustez de una prueba de hipótesis (Rasch & Guiard, 2004).

1.2. Respeto al supuesto de homocedasticidad.

En el enfoque tradicional, la hipótesis nula de una prueba de homocedasticidad establece perfecta igualdad de los parámetros comparados ($H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2$). Trasladando la idea de Box a este pre-test, podríamos también concluir que verificar perfecta igualdad de varianzas carece de sentido, ya que en la realidad esto tampoco existe. Sin embargo estableceremos un análisis adicional respecto a los test tradicionales para verificar este supuesto.

El hecho es que cuando un investigador está probando homocedasticidad bajo el enfoque tradicional se enfrenta a la dificultad lógica de que no rechazar la hipótesis nula de perfecta igualdad de varianzas solo significa ausencia de evidencia para concluir diferencias significativas entre los parámetros comparados, lo cual no es necesariamente una prueba de la existencia de homocedasticidad, como en este mismo sentido (Altman, Douglas G and Bland, 1995) mencionó “Ausencia de evidencia no es evidencia de ausencia” y (Wellek, 2010) también al respecto dijo “*Una diferencia no significativa no debe ser confundida con una significativa homogeneidad*”. La parte izquierda del Figura 1 ayuda a visualizar de mejor manera esta idea. Por otra parte, rechazar esta hipótesis nula podría estar sugiriendo tan solo una irrelevante o despreciable heterocedasticidad. En ambos casos basándonos en la decisión de rechazo o no rechazo, existe la duda de saber si las pruebas tradicionales están realmente probando lo que necesitamos saber previo a un test de comparación de medias.

Ya podemos notar con más claridad que además de los estudios técnicos realizados por simulación, existen argumentos teóricos que muestran las dificultades conceptuales y peligros que tenemos al pre-testear los supuestos de normalidad y homocedasticidad usando el enfoque tradicional. Es interesante a continuación analizar lo que sucede con el enfoque de equivalencia

2. Verificación de supuestos mediante el enfoque de equivalencia.

(Wellek, 2010) en su libro, usa el término de equivalencia como una forma dilatada de una relación de identidad entre los parámetros analizados y considera que esta dilatación en la hipótesis de equivalencia se induce al añadir en la hipótesis tradicional una zona de irrelevancia alrededor de la correspondiente región o punto en el espacio paramétrico que denota la igualdad perfecta de varianzas (o el perfecto ajuste a la normalidad). Esta zona de irrelevancia está limitada por los llamados límites de equivalencia cuyos valores son constantes positivas que deben ser asignadas a priori y sin mayor conocimiento de la muestra a analizar. Inverso al test de hipótesis tradicional donde en la hipótesis nula se especifica la igualdad de los parámetros comparados, este tipo de pruebas se plantean de tal forma que la hipótesis nula establece la no equivalencia, mientras que la alternativa establece la

equivalencia. Este cambio de interés en la investigación conduce a diseñar un estudio que pretende demostrar ausencia de una diferencia relevante entre los efectos de dos o más tratamientos, es decir equivalencia (Flores, 2017). Además es muy importante notar que las pruebas de equivalencia no buscan probar normalidad u homocedasticidad perfecta, en lugar de esto, la intención es declarar el cumplimiento de los supuestos incluso para desviaciones que pueden ser consideradas como irrelevantes o despreciables. Parece ser que con estas precisiones, este enfoque supera las dificultades lógicas analizadas en la Sección 2.

Con el fin de ilustrar de forma adecuada el planteamiento de una prueba de irrelevancia, presentamos a continuación el correspondiente test para determinar una posible equivalencia entre las varianzas σ_1^2 y σ_2^2 , lo cual se traduciría en homocedasticidad:

Para las hipótesis:

$$H_0: \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \leq \omega_1^2 \wedge \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \geq \omega_2^2 \rightarrow \text{No equivalencia (Diferencia relevantes de varianzas)}$$

$$H_1: \omega_1^2 < \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} < \omega_2^2 \rightarrow \text{Equivalencia (Diferencias irrelevantes de varianzas)}$$

Con límites de irrelevancia ($\omega_1^2 < 1 < \omega_2^2$). Un test invariante uniformemente más potente (UMPI), es aquel cuya región crítica está dada por:

$$\{\tilde{C}_{\alpha, n_1-1, n_2-1}^{(1)}(\omega_1^2, \omega_2^2) < Q < \tilde{C}_{\alpha, n_1-1, n_2-1}^{(2)}(\omega_1^2, \omega_2^2)\}$$

Donde el estadístico de prueba Q viene dado por

$$Q = \frac{S_X^2}{S_Y^2} = \frac{(n_2 - 1) \sum_{i=1}^{n_1} (X_i - \bar{X})^2}{(n_1 - 1) \sum_{i=1}^{n_2} (Y_i - \bar{Y})^2}$$

Y los valores críticos ($\tilde{C}_{\alpha, n_1-1, n_2-1}^{(1)}(\omega_1^2, \omega_2^2)$, $\tilde{C}_{\alpha, n_1-1, n_2-1}^{(2)}(\omega_1^2, \omega_2^2)$) están determinados al resolver el sistema de ecuaciones:

$$F_{n_1-1, n_2-1} \left(\frac{\tilde{C}_2}{\omega_1^2} \right) - F_{n_1-1, n_2-1} \left(\frac{\tilde{C}_1}{\omega_1^2} \right) = \alpha = F_{n_1-1, n_2-1} \left(\frac{\tilde{C}_2}{\omega_2^2} \right) - F_{n_1-1, n_2-1} \left(\frac{\tilde{C}_1}{\omega_2^2} \right)$$

Donde $F_{n_1-1, n_2-1}(\cdot)$ corresponde a la función de distribución acumulada de una distribución F centrada, con $n_1 - 1$ grados de libertad en el numerador y $n_2 - 1$ grados de libertad en el denominador.

Notemos que en esta ocasión, cuando se rechaza la hipótesis nula de no equivalencia podemos concluir afirmando la existencia de evidencia para inferir diferencias irrelevantes entre las varianzas comparadas, lo cual sí se puede considerar como homocedasticidad (desde

el punto de vista de la equivalencia). Esto, desde el punto de vista teórico supera las dificultades lógicas tratadas en la Sección 2.2. La Figura 1 muestra claramente estas diferencias entre el enfoque tradicional y de equivalencia cuando se pretende verificar el cumplimiento del supuesto de homocedasticidad.

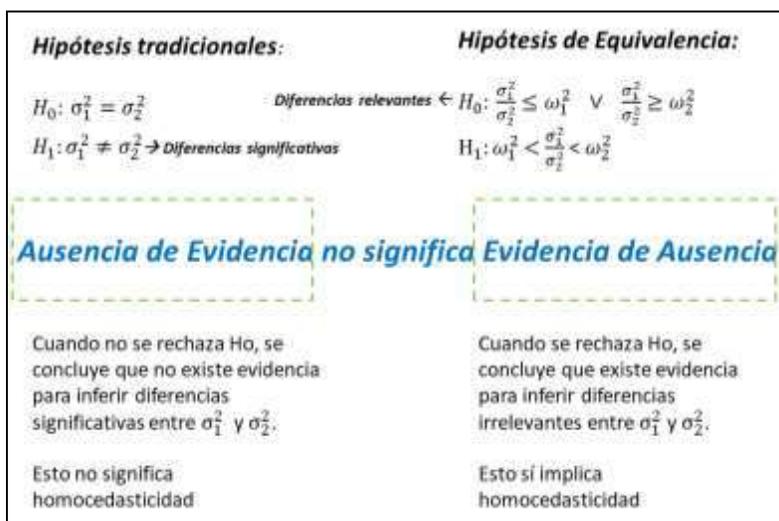


Figura 1. Comparación entre el enfoque tradicional y de equivalencia en las pruebas para verificar homocedasticidad

2.1. Los límites de equivalencia (ω_1^2 , ω_2^2)

Con lo expuesto hasta ahora sobre pruebas de equivalencia para verificar el supuesto de homocedasticidad, estaremos conscientes de que el planteamiento de una adecuada zona de irrelevancia es fundamental para establecer una correcta equivalencia entre los parámetros a compararse. Sin embargo, Wellek no plantea un criterio técnico para determinar los límites de esta zona y en su lugar propone un criterio que nos parece subjetivo basado en la experiencia del investigador o en lo que él denomina como un sentido estadístico común.

(Flores M & Ocana, 2018), plantean un algoritmo computacional para determinar los límites de equivalencia en función del tamaño muestral, nivel de significancia y nivel de permisividad, el cual se muestra como un criterio más técnico al momento de establecer una adecuada zona de irrelevancia. El algoritmo se encuentra implementado en la función “limvarRatio” creada con el paquete base del software R (Team, 2016).

Para explicar la lógica de esta función es necesario definir el llamado nivel de permisividad “ δ ” como la distancia máxima por encima y por debajo del nivel de significancia “ α ” que se puede tolerar en una prueba de hipótesis para considerar que el modelo es lo suficientemente bueno como para ser considerado útil --lógicamente el mejor valor para esta permisividad basado en el criterio de Cochran será $\delta = 0.20\alpha$. Luego, debemos tener en cuenta que para una prueba t - Student de comparación de medias en muestras donde se garantice el

cumplimiento de la normalidad y homocedasticidad, la TIEP coincide con el nivel de significancia α planteado y que cuando empiezan a existir desviaciones de la homocedasticidad, la TIEP de la prueba puede ser estimada mediante Simulación de Montecarlo como la proporción de rechazos de la hipótesis nula de igualdad de medias cuando esta es verdadera.

Con base a estas precisiones, la función “limvarRatios” para determinar una adecuada zona de irrelevancia en las pruebas de equivalencia para verificar homocedasticidad, consiste en un algoritmo que busca de manera iterativa los valores más alejados entre σ_1 y σ_2 que producen muestras que al ser sometidas mediante un proceso de simulación a una *t* de Student para comparar medias provocan una estimación (por intervalos de confianza) de la TIEP que se encuentra dentro del intervalo de permisividad ($\alpha \pm \delta$), pero no solo es necesario que se ubique dentro de este intervalo, además debe verificarse que se encuentre lo más cerca posible a uno de sus límites, esto debido a que para un δ fijo (lo mejor siempre será $\delta = 0.20\alpha$), a medida que aumenta el tamaño muestral, la zona de indiferencia debe ser más amplia, para que de esta forma la hipótesis de equivalencia tenga una región paramétrica lo más ancha posible, lo cual garantiza que la prueba de equivalencia no sea menos potente de lo que podría llegar a ser. Finalmente la razón al cuadrado entre los valores σ_1 y σ_2 hallados serán considerados los límites del intervalo de irrelevancia (ω_1^2, ω_2^2). Ya que para casos balanceados existe una completa simetría entre los límites de equivalencia, es suficiente obtener una sola razón entre estos valores que determine un $\omega_1^2 = 1/\omega_2^2$, esto no se cumple en casos desbalanceados, donde se debe determinar dos razones ω_1^2 y ω_2^2 por encima y por debajo de la perfecta igualdad entre varianzas, las cuales no necesariamente son simétricas.

Utilizando un nivel de permisividad basado en el criterio de Cochran, la Tabla 1 muestra límites de irrelevancia calculados con la función “limvarRatios”, a partir de 100000 réplicas de simulación, usando los niveles de significancia más comunes y para distintos tamaños muestrales tanto balanceados como desbalanceados. Los resultados muestran que el área de irrelevancia es más ancha para casos balanceados que para desbalanceados y además que para casos balanceados los tamaños muestrales más grandes corresponden a los intervalos de equivalencia más anchos, algo que no ocurre con los casos desbalanceados donde independientemente del tamaño muestral los límites de equivalencia son muy parecidos. Este comportamiento se mantiene para los distintos niveles de significancia utilizados.

Tabla 1: Zona de Indiferencia (ω_1^2, ω_2^2) con $\delta = 0.20\alpha$

	$\alpha = 0.1$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
n = (5,5)	(0.130 - 7.691)	(0.225 - 4.428)	(0.397 - 2.519)
n = (3,7)	(0.709 - 1.412)	(0.779 - 1.289)	(0.819 - 1.163)
n = (7,3)	(0.711 - 1.410)	(0.776 - 1.325)	(0.832 - 1.166)
n = (10,10)	(0.002 - 501.0)	(0.097 - 10.325)	(0.282 - 3.542)
n = (6,14)	(0.727 - 1.408)	(0.783 - 1.292)	(0.846 - 1.157)

n = (14,6)	(0.716 - 1.362)	(0.787 - 1.264)	(0.859 - 1.148)
n = (5,10)	(0.679 - 1.387)	(0.741 - 1.286)	(0.819 - 1.196)
n = (10,5)	(0.716 - 1.452)	(0.786 - 1.331)	(0.862 - 1.256)

3. Estimación de la tiep en el proceso de pre – testeo.

3.1. Para muestras normales cuando se pre-testea homocedasticidad

Un primer estudio de simulación usando ambos enfoques, cuando se asegura la normalidad y se pre-testea homocedasticidad (Flores M & Ocana, 2018) confirma los resultados de las investigaciones preliminares presentados en la introducción, en el sentido de obtener valores muy inflados de la TIEP estimada cuando el proceso de pre-testeo se lleva a cabo con el enfoque tradicional, especialmente para muestras pequeñas y desbalanceadas.

Por otro lado, cuando el enfoque de equivalencia con los adecuados límites de irrelevancia proporcionados por “limvarRatios” es usado para pre-testear homocedasticidad, la TIEP de una prueba de comparación de medias queda controlada en todos los casos alrededor del nivel de significancia α , siempre y cuando se asegure el cumplimiento de la normalidad e independientemente del nivel de significancia, el tamaño de la muestra y el nivel de heterocedasticidad. Más aún, en todos estos casos la TIEP estimada siempre se encuentra dentro del intervalo $(\alpha \pm \delta)$, establecido por el Criterio de Cochran, lo cual indica que todos estos procedimientos son los suficientemente buenos y seguros para ser utilizados.

Esta TIEP estimada siempre presenta valores muy similares (o casi idénticos) a los calculados cuando se usa directamente el test de Welch, esto resulta ser favorable, puesto que lo que está ocurriendo es que la prueba de homocedasticidad funciona de tal forma que declara heterocedasticidad en todos los casos que debe hacerlo y es por eso que siempre se aplica el test que corresponde para muestras heterocedásticas, es decir Welch.

Es importante mencionar que en todos las estimaciones realizadas se utilizó la técnica de reducción de la varianza denominada “Variables de control” (Ocaña & Vegas, 1995; Vegas & Ocana, 2000), la cual permitió reducir la variabilidad y tener una mejor precisión de la simulación sin necesidad de incrementar exageradamente las réplicas de simulación que para todos los casos fueron 100000. La variable de control utilizada es el número de rechazos de la hipótesis nula de una prueba t de Student para comparar dos medias cuando se asegura normalidad y homocedasticidad, la cual se encuentra altamente correlacionada con la variable de interés y además se conoce su esperanza matemática ya que coincide con el nivel de significancia α . Los resultados de este trabajo se muestran en conjunto con los resultados del siguiente, el cual analiza la estimación de la TIEP en aquellos casos donde no se puede asegurar el cumplimiento de la normalidad.

Además de este trabajo mencionaremos un estudio de simulación realizado cuando se utiliza una prueba de equivalencia para demostrar homocedasticidad entre más de dos poblaciones

previo a una prueba de comparación de medias de un factor – ANOVA (Kim & Cribbie, 2017). El estudio utiliza límites de irrelevancia arbitrarios, es decir propuestos por un simple sentido estadístico común. La conclusión principal de este trabajo es que cuando se pre-testea igualdad de varianzas mediante enfoque de irrelevancia, el test ANOVA tiene una TIEP menor a la provocada que cuando se pre-testea con el enfoque tradicional (Levene), a pesar de que para ciertos niveles de heterocedasticidad y tamaños muestrales la TIEP está muy alejada del nivel de significancia usado y fuera del intervalo de Cochran, por lo que pensamos que en realidad, esta investigación no brinda una solución a la alteración del error tipo I cuando se pre-testea.

El uso válido del procedimiento tradicional ANOVA de muestras independientes requiere que las variaciones de población sean iguales. Investigaciones anteriores han investigado si las pruebas de homogeneidad de la varianza, como la prueba de Levene, son satisfactorias como guardianes para identificar cuándo utilizar o no el procedimiento ANOVA. Esta investigación se centra en una nueva prueba de homogeneidad de la varianza que incorpora un enfoque de prueba de equivalencia. En lugar de probar la hipótesis nula de que las varianzas son iguales contra una hipótesis alternativa de que las varianzas no son iguales, la prueba basada en equivalencia evalúa la hipótesis nula de que la diferencia en las varianzas queda fuera o en el límite de un intervalo predeterminado frente a una alternativa hipótesis de que la diferencia en las variaciones cae dentro del intervalo predeterminado. Por lo tanto, con el procedimiento basado en equivalencia, la hipótesis alternativa se alinea con la hipótesis de investigación (igualdad de varianza). Un estudio de simulación demostró que la prueba de homogeneidad de la varianza poblacional basada en la equivalencia es un mejor guardián para el ANOVA que la homogeneidad tradicional de las pruebas de varianza

3.2. Para separaciones de la normal cuando se pretestea homocedasticidad.

Otro trabajo en el cual se aplicó la misma metodología de simulación que el anterior se realizó (Flores & Ocaña, 2018), pero ahora se añade el estudio de la estimación de la TIEP para muestras que presentan ciertos alejamientos de la normal. Estos alejamientos fueron obtenidos a partir de los coeficientes de Fleishman (Fleishman, 1978). El procedimiento de Fleishman para obtener muestras no normales, considera que cualquier distribución para la cual los primeros cuatro momentos existen, se puede obtener a partir de la transformación $Z = a + bX + cX^2 + dX^3$, donde X es una variable normal estándar y Z es una variable con distribución desconocida y parámetros $(\mu = 0, \sigma^2 = 1, \gamma_1, \gamma_2)$, donde la simetría γ_1 y la curtosis γ_2 definen los grados de separación o contaminación de la normal. Finalmente una variable $Y = \mu + \sigma Z$ tiene distribución desconocida con parámetros $(\mu = 0, \sigma^2 = 1, \gamma_1, \gamma_2)$.

Se definió diferentes niveles de contaminación de la normalidad de acuerdo a distintas combinaciones de la simetría y curtosis estudiadas en investigaciones previas (Bendayan, Arnau, Blanca, & Bono, 2013; Blanca, Arnau, López, Bono, & Bendayan, 2013). Los coeficientes de Fleishman para estos niveles de no normalidad fueron calculados usando la

función “fleishman.coef” del paquete “BinNonNor” (Inan & Hakan, 2018) . Todos estos resultados se muestran en la Tabla 2, a partir de los cuales se pudieron establecer y simular muestras no normales para realizar el proceso de estimación de la TIEP.

Tabla 2: Coeficientes de Fleishman, Simetría y Curtosis para diferentes niveles de contaminación de la normalidad.

Nivel de Contaminación	Simetría	Curtosis	Coeficientes de Fleishman
	γ_1	γ_2	(a, b, c, d)
Cont. Cero	0	0	(0, 1, 0, 0)
Cont. Leve	0.25	0.7	(-0.037, 0.933, 0.037, 0.021)
Cont. Moderada	0.75	1	(-0.119, 0.956, 0.119, 0.0098)
Cont. Alta	1.3	2	(-0.249, 0.984, 0.249, -0.016)
Cont. Severa	2	6	(-0.314, 0.826, 0.314, 0.023)

Dado que los resultados del estudio anterior donde se aseguraba normalidad son parte de los resultados de este nuevo trabajo estamos analizando, se presentan a continuación gráficas condensadas de los resultados para ambas investigaciones, donde las estimaciones correspondientes al grado de contaminación cero coinciden exactamente con las obtenidas en el trabajo para muestras normales anterior. Todas las gráficas tienen un área sombreada representando el Criterio de Cochran, el procedimiento que deje su respectiva TIEP dentro del área será considerado como robusto o lo suficientemente bueno para ser utilizado. Como se puede observar, en todos los casos se realiza la estimación usando 5 procedimientos diferentes, dos de estos tienen que ver con el uso directo sin pre-test del t de Studenty el test de Welch, otros dos utilizan los test tradicionales de Levene y F respectivamente para pre-testear el supuesto de homocedasticidad previa la prueba de comparación de medias y finalmente el último procedimiento tiene que ver con pre-testear el supuesto a través del enfoque de equivalencia.

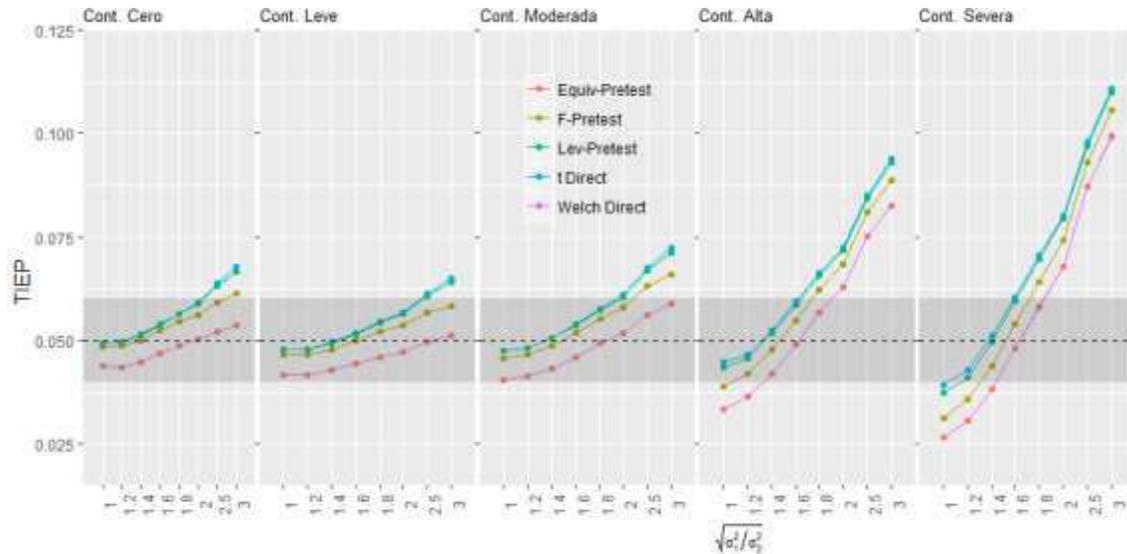


Figura 2. Estimación Global de la TIEP cuando se pre-testea igualdad de varianzas para distintos niveles de no normalidad y heterocedasticidad, usando un $\alpha = 0.05$ y ($n_1 = 5, n_2 = 5$)

La Figura 2 muestra la estimación de la TIEP para un caso balanceado de tamaño 5. Se puede observar que los diferentes procedimientos utilizados muestran un comportamiento similar, en el sentido que siempre uno es mejor que otro. En ningún caso aplicar directamente el t de Studento pre-testear bajo el enfoque tradicional es recomendado puesto que la TIEP de estos procedimientos se encuentran siempre alterados con mayor intensidad que los demás. La TIEP estimada, independientemente del nivel de heterocedasticidad, se controla bastante bien alrededor del nivel de significancia cuando se utiliza directamente el test de Welch o el pre-test de equivalencia, esto únicamente para niveles de contaminación de la normalidad cero, leve y moderado, donde la TIEP siempre se encuentra dentro del Criterio de Cochran para cualquier grado de heterocedasticidad. A partir de una contaminación alta de la normalidad parece ser que no podemos asegurar que ninguno de los procedimientos aplicado sea un método seguro a utilizar.

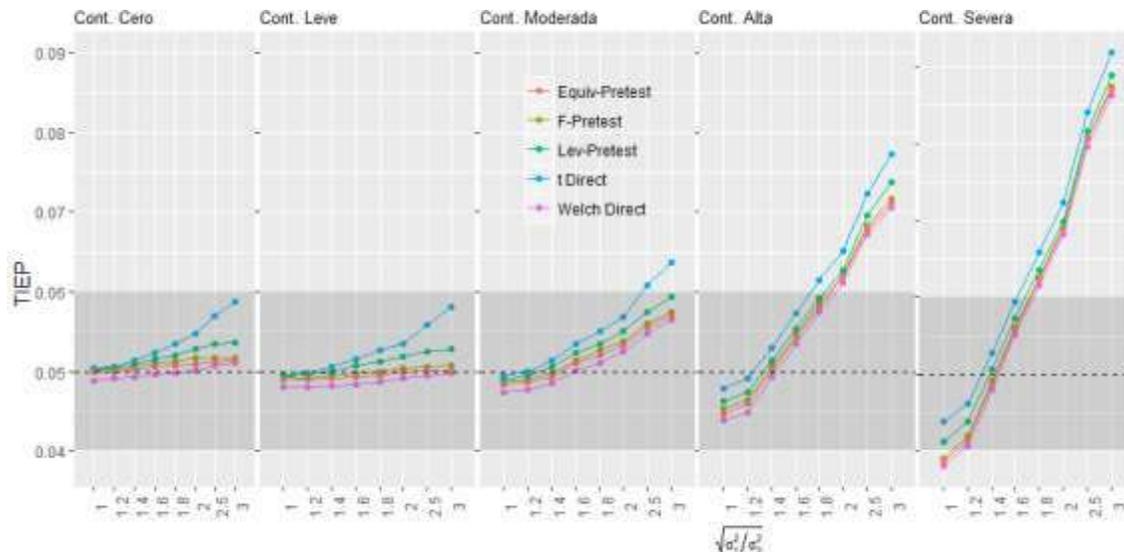


Figura 3. Estimación Global de la TIEP cuando se pre-testea igualdad de varianzas para distintos niveles de no normalidad y heterocedasticidad, usando un $\alpha = 0.05$ y $(n_1 = 10, n_2 = 10)$.

La Figura 3 muestra la estimación de la TIEP para un caso balanceado de tamaño 10. En general como casi todo lo que pasa en estadística cuando el tamaño muestral aumenta, estos resultados mejoran, siendo efectivos (desde el punto de vista del Criterio de Cochran) ciertos procedimientos que para muestras más pequeñas no funcionaban del todo bien. Sin embargo se observa que aunque existen procedimientos que se encuentran dentro del área sombreada, siempre el aplicar directamente Welch o pre - testear usando el enfoque de equivalencia mantiene la TIEP más cerca del nivel de significancia que los otros procedimientos. Nuevamente, esto parece ser adecuado pero solo hasta un nivel moderado de contaminación de la normalidad, luego de lo cual ya no existe un procedimiento que podamos recomendar.

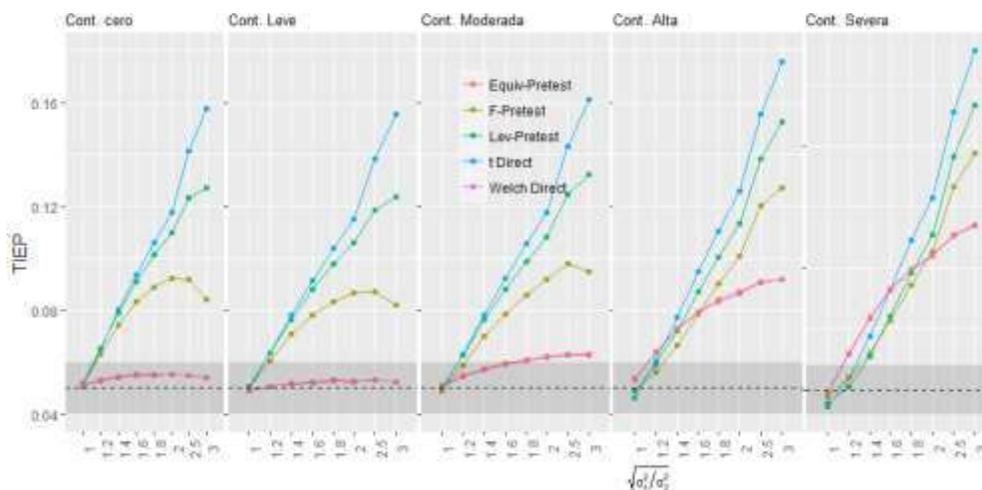


Figura 4. Estimación Global de la TIEP cuando se pre-testea igualdad de varianzas para distintos niveles de no normalidad y heterocedasticidad, usando un $\alpha = 0.05$ y ($n_1 = 5, n_2 = 10$).

La Figura 4 y La Figura 5, muestran las estimaciones de la TIEP para muestras desbalanceadas de tamaño (5, 10) y (10, 5) respectivamente. Se observa que cuando a la muestra más pequeña le corresponde la varianza teórica más grande, la estimación de la TIEP se ubica por encima del nivel de significancia, mientras que cuando a la muestra más grande le corresponde la varianza más grande, la estimación de la TIEP se ubica por debajo del nivel de significancia. En estos casos desbalanceados, la alteración de la TIEP es más evidente, de tal forma que únicamente los procedimientos que consisten en usar directamente Welch o pre-testear mediante equivalencia mantienen a la TIEP dentro del área sombreada, todos los demás procedimientos presentan para alguna desviación de la normalidad o de la homocedasticidad alguna alteración de la TEP que se aleja demasiado del nivel de significancia. Pero de igual forma que lo ocurrido en los casos balanceados, el uso directo de Welch y pre-testear usando un test de equivalencia deja de ser efectivo a partir de un nivel alto de no normalidad.

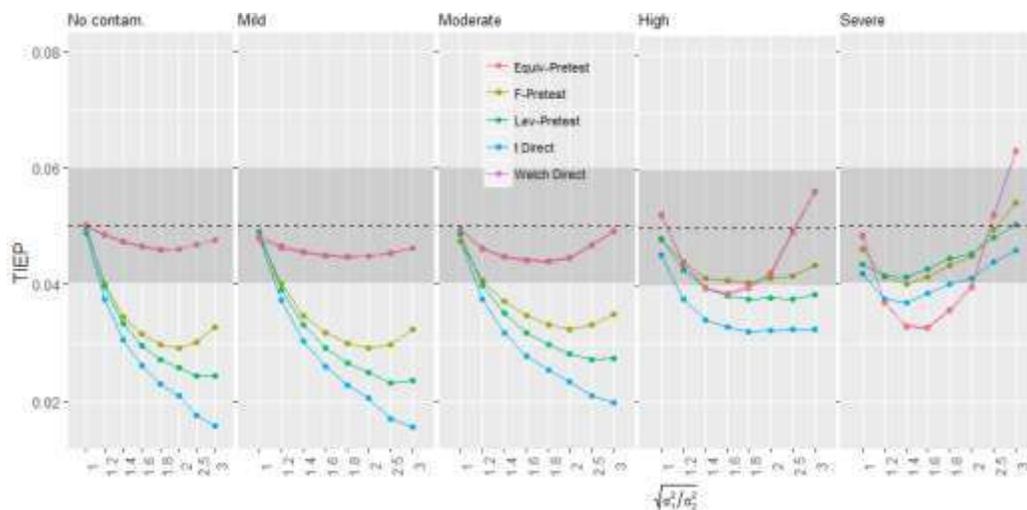


Figura 5. Estimación Global de la TIEP cuando se pre-testea igualdad de varianzas para distintos niveles de no normalidad y heterocedasticidad, usando un $\alpha = 0.05$ y ($n_1 = 10, n_2 = 5$)

4. Conclusiones.

- Está claro que pre-testear los supuestos de normalidad u homocedasticidad usando los enfoques tradicionales no es una buena idea, hacerlo aumenta considerablemente la probabilidad de cometer un error tipo I. Al igual que ya lo hacen investigaciones previas, recomendamos dejar de usar estas pruebas como un método de verificación de supuestos y en su lugar utilizar el enfoque de equivalencia, el cual provoca estimaciones aceptables de la TIEP al menos en su versión dedicada a pre-testear el supuesto de homocedasticidad y cuando se puede asegurar normalidad o a lo mucho

una desviación moderada de la misma, que es lo que se ha investigado hasta ahora. Sería interesante en este sentido averiguar qué ocurre con la TIEP cuando la normalidad es pre-testeada ya sea con el enfoque tradicional o de equivalencia.

- Enfocándonos en el procedimiento que consiste en aplicar el pre – test de equivalencia, el hecho de que exista desviaciones de la normalidad para las cuales la TIEP empieza a alejarse demasiado del nivel de significancia y además saber que estas desviaciones pueden ser controladas por los coeficientes de Fleishman, propone investigaciones futuras como el planteamiento de niveles adecuados de irrelevancia para pruebas de equivalencia dedicadas a probar el supuesto de normalidad. El procedimiento podría consistir nuevamente en un algoritmo iterativo que encuentre valores para los coeficientes de Fleishman que hagan que la TIEP estimada se encuentre dentro y lo más cercano posible a los límites establecidos por el criterio de Cochran.
- Finalmente, muy poco se ha hecho respecto al estudio generalizado para más de dos medias, aunque ya se conoce que de manera similar a lo que sucede en el caso particular de dos poblaciones, el proceso de pre – testear bajo el enfoque tradicional deja serias alteraciones en la probabilidad de cometer un error de tipo I. En este sentido una investigación análoga a las presentadas en la presente revisión, dedicada a estudiar el comportamiento de la TIEP en pruebas de comparación de más de dos medias cuando se pre – testea sus supuestos mediante equivalencia sería de gran interés.

Bibliografía.

- Albers, W., Boon, P. C., & Kallenberg, W. C. M. (1998). Testing equality of two normal means using a variance pre-test. *Statistic and Probability Letters*, 38, 221–227.
- Altman, Douglas G and Bland, J. M. (1995). Statistics notes: Absence of evidence is not evidence of absence. *Bmj*, 311, 485.
- Bendayan, R., Arnau, R. and, Blanca, M., & Bono, R. (2013). Comparison of the procedures of Fleishman and Ramberg et al. for generating non-normal data in simulation studies. *Annals of Psychology*, 30(1), 364–371.
- Blanca, M., Arnau, J., López, M., Bono, D., & Bendayan, R. (2013). Skewness and kurtosis in real data samples. *European Journal of Research Methods for the Behavioral and Social Sciences*, 9(2), 78.
- Box, G., & Drapper, N. (1987). *Empirical Model Building and response Surface*. John Wiley & Sons.
- Box, G. E. (1979). Robustness in the strategy of scientific model building. *Army Research Office Workshop on Robustness in Statistics*, 1, 201–236. <https://doi.org/0-12-4381-50-2>
- Brown, M., & Forsythe, A. (1974). Robust tests for the equality of variances. *Journal of the*

American Statistical Association, 69(346), 364–367.

Cochran, W. G. (1942). The χ^2 correction for continuity. *Iowa State College Journal of Science*, 16, 421–436.

Darling, D. A., & Anderson, T. W. (1954). A test of goodness of fit. *Journal of the American Statistical Association*, 49(268), 765–769.

Fleishman, A. (1978). A method for simulating non-normal distributions. *Psychometrika*, 43(4), 521–532.

Flores, P. (2017). *Un Pretest de Irrelevancia de la diferencia de varianzas en la comparación de medias*.

Flores, P., & Ocaña, J. (2018). Pretesting Assumptions for the validity of two sample Mean Tests. In *IX International Workshop on Simulation* (p. 28). Barcelona: UPC.

Flores M, P. (2018). El riesgo de pre-testear el supuesto de homocedasticidad en las pruebas de comparación de medias . Estudio para casos balanceados. *Revista Perspectiva*, 19(1), 55–67.

Flores M, P., & Ocaña, J. (2018). Heteroscedasticity irrelevance when testing means difference. *SORT*, 42(1), 59–72. <https://doi.org/10.2436/20.8080.02.69>

Gutierrez, H. (2008). *Análisis y Diseño de Experimentos*. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V.

Hsu, P. (1938). Contribution to the theory of “ Student’s ” t-test as applied to the problem of two samples. *Statistical Research Memoirs*.

Inan, G., & Hakan, D. (2018). BinNonNor: Data Generation with Binary and Continuous Non-Normal Components. Retrieved from <https://cran.r-project.org/package=BinNonNor>

Kim, J., & Cribbie, R. A. (2017). The variance homogeneity assumption and the traditional ANOVA: Exploring a better gatekeeper. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*.

KOLMOGOROV, A. (1933). Sulla determinazione empirica di una legge di distribuzione. *Inst. Ital. Attuari*, 4, 83–91.

Mann, H. B., & Whitney, D. R. (1947). On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *The Annals of Mathematical Statistics*, 50–60.

Moder, K., Rasch, D., & Kubinger, K. D. (2009). Don ’ t use the two-sample t-test anymore ! In *VI Workshop on Simulation* (pp. 258–262). St. Petersburg.

Ocaña, J., & Vegas, E. (1995). Variance reduction for Bernoulli response variables in

simulation. *Computational Statistics and Data Analysis*, 19(6), 631–640.
[https://doi.org/10.1016/0167-9473\(94\)00023-C](https://doi.org/10.1016/0167-9473(94)00023-C)

Overall, John E and Atlas, Robert S and Gibson, J. M. (1995). Tests that are robust against variance heterogeneity in kx2 designs with unequal cell frequencies. *Psychological Reports*, 76, 1011–1017.

Rasch, D., & Guiard, V. (2004). The robustness of parametric statistical methods. *Psychology Science*, 46(2), 175–208.

Rasch, D., Kubinger, K. D., & Moder, K. (2011). The two-sample t test: Pre-testing its assumptions does not pay off. *Statistical Papers*, 52(1), 219–231.
<https://doi.org/10.1007/s00362-009-0224-x>

Rasch, D., & Schott, D. (2018). *Mathematical Statistics*. Oxford, United Kingdom: Wiley.

Scheffé, H. (1970). Practical solutions of the behrens-fisher problem. *Journal of the American Statistical Association*, 65, 1501--1508.

Shapiro, S., & Wilk, M. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3/4), 591–611.

Smirnov, N. (1948). Table for estimating the goodness of fit of empirical distributions. *The Annals of Mathematical Statistics*, 19(2), 279–281.

Snedecor, G., & Cochran, W. (1989). *Statistical Methods*.

Student. (1908). The Probable Error of a Mean. *Biometrika*, 6(1), 1–25.

Team, R. C. (2016). R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <https://www.r-project.org/>

Triola, M. F. (2009). *Estadística* (10th ed.). México.

Vegas, E., & Ocana, J. (2000). Variance reduction in the study of a test concerning the Behrens-Fisher problem. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 29(2), 463–479. <https://doi.org/10.1080/03610910008813622>

Wackerly, D. D., Mendenhall, W., & Scheaffer, R. L. (2010). *Estadística matemática con aplicaciones*. (S. . Cengage Learning Editores, Ed.) (10th ed.). Mexico.

Wallpole, R., & Myers, R. (2012). *Probabilidad y Estadística para ingeniería y Ciencias* (9th ed.). México: Pearson Education.

Welch, B. L. (1951). On the Comparison of Several Mean Values: An Alternative Approach. *Biometrika*. <https://doi.org/10.2307/2332579>

- Wellek, S. (2010). *Testing statistical hypotheses of equivalence and noninferiority*.
- Wilcoxon, F. (1945). Individual comparisons by ranking methods. *Biometrics Bulletin*, 1(6), 80–83.
- Zimmerman, D. (2004). A note on preliminary tests of equality of variances, 57, 173–181.
<https://doi.org/10.1348/000711004849222>



Para citar el artículo indexado.

Flores P., Ocaña J., Sánchez T., (2018). Verificación de Supuestos en las Pruebas de Comparación de medis. Una revisión. *Revista electrónica Ciencia Digital* 2(4.1.), 5-22.
Recuperado desde:
<http://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/view/187/165>



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Ciencia Digital**.

El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Ciencia Digital**.



Análisis clúster de la red de comercio internacional entre 1992 y 2015.



Cluster analysis of the network of international trade between 1992 and 2015.

Víctor Roberto Morales-Oñate.⁵ & Bolívar Efraín Morales-Oñate.⁶

Recibido: 17-07-2017 / Revisado: 10-09-2018 Aceptado: 08-10-2018/ Publicado: 01-11-2018

⁵ Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Departamento de Desarrollo, Ambiente y Territorio, Quito, Ecuador, victor.morales@uv.cl

⁶ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Riobamba, Ecuador, bolivar.morales@espoch.edu.ec

Abstract.

DOI: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v2i4.1.188>

Cluster analysis is a tool used in various fields of research that allow structural evidence in the configuration of groups. International trade networks, on the other hand, can be analyzed in terms of graph theory. This article combines both perspectives in such a way that the links of a trade network can be analyzed. Powerful results have been obtained for the analysis of international trade that account for the centrality of countries through their links and not their nodes only.

Keywords: International trade network, clustering, centrality measures.

Resumen.

El análisis clúster es una herramienta usada en diversos campos de la investigación que permite evidencia estructuras en la configuración de grupos. Las redes de comercio internacional, por su parte, puede ser analizadas en términos de la teoría de grafos. Este trabajo combina ambas perspectivas de tal modo que se pueda analizar los enlaces de una red de comercio. Se han obtenido resultados potentes para el análisis del comercio internacional que dan cuenta de la centralidad de los países a través de sus enlaces y no únicamente sus nodos.

Palabras Claves: red de comercio internacional, clustering, medidas de centralidad.

Introducción.

El comercio internacional puede ser analizado desde varias perspectivas, que varían desde un enfoque de leyes y tratados que norman las relaciones bilaterales y multilaterales (Gervais & Gervais, 1998; Ruse-Khan & Grosse, 2018; Park, 2008; Hoekman, Mattoo, & English, 2002; Matthews, 2003), hasta propuestas de análisis a través modelos. Por ejemplo, el modelo de gravitación ha sido ampliamente utilizado en la literatura de comercio internacional (Bergstrand, 1985; Mátyás, 1997; Van Bergeijk, 2010). El comercio internacional puede ser también sujeto de análisis a través de redes, ya que los flujos de comercio entre los diferentes países constituyen en si mismo una red, por lo que se puede encontrar en la literatura numerosas referencias que analizan la red de comercio mediante teoría de redes.

Este análisis de redes puede ser orientado, al menos, de tres diferentes formas: caracterización, modelización e inferencia y procesos de redes. Asimismo, la caracterización también es abordable desde varios enfoques. Por ejemplo, a través de la caracterización de nodos y enlaces (links por sus siglas en inglés), subgrafos o particiones de la red (Kolaczyk & Csárdi, 2014; Françoisse, Kivimäki, Mantrach, Rossi, & Saerens, 2017; Goldenberg, Zheng, Fienberg, & Airoidi, 2010).

Tradicionalmente, la descripción de la red se realiza mediante indicadores descriptivos de centralidad. Las medidas de centralidad tradicionales son *closeness* y *betweenness*, mientras que medidas más actuales incluyen a la centralidad basada en *la elasticidad país-país* (Pérez-Oviedo, Cajas-Guijarro, & María, 2017). *Closeness*, mide la cercanía que tiene un nodo respecto a sus vecinos (Sabidussi, 1966). La versión clásica del indicador es la inversa respecto a una medida de distancia a otros nodos y se calcula mediante la fórmula: $c_{CI}(v) = \frac{1}{\sum_{u \in V} \text{dist}(v,u)}$, donde $\text{dist}(v, u)$ denota la distancia entre los nodos v y u . *Betweenness* mide el grado en el que un nodo se localiza “entre” otros nodos. Es decir, mide la importancia del vértice respecto al número de caminos del cual es parte. Una presentación clásica del indicador es: $c_B(v) = \sum_{s \neq t \neq v \in V} \frac{\sigma(s,t|v)}{\sigma(s,t)}$ (Freeman, 1977). Finalmente, la elasticidad país-país supone una propensión marginal a importar, así como una determinada estructura comercial dada por la red. En términos matriciales, el indicador de centralidad denominado elasticidad país-país está dado por $E = YM(I - MA)^{-1}Y^{-1}$. Donde $E = [e_{ij}]_{i,j=1,\dots,N}$ es una matriz de elasticidades que estima el cambio porcentual que se da en el ingreso de un país j cuando se cambia en un punto porcentual el ingreso de un país i . Y es una matriz diagonal que contiene el PIB de cada país, M es una matriz diagonal que recoge la propensión marginal a importar de cada país y A es la matriz $N \times N$ de flujos país-país. A partir de la matriz E es posible calcular la media de e_{ij} ponderada por la participación de cada país en la producción mundial: $e_i = \frac{\sum_{j \neq i} e_{ij} Y_j}{\sum_{j \neq i} Y_j}$ donde e_i denota la centralidad de cada país. También es posible calcular el efecto del resto del mundo sobre el país j : $e_{.j} = \frac{\sum_{j \neq i} e_{ij} Y_i}{\sum_{j \neq i} Y_i}$ donde $e_{.j}$ estima la dependencia de un país frente a un *shock* del resto de países.

Todas las medidas de centralidad mencionadas anteriormente plantean una versión que puede ser utilizada en grafos poderados y dirigidos. Es justamente en el uso de las ponderaciones de los enlaces en que se se trata de dar cuenta de la intensidad de la relación entre los nodos. Sin embargo, hay pocos estudios que caracterizan los enlaces enlaces de un grado e una red de comercio, la literatura se ha priorizado el rol de los nodos y no de sus links (Gao, Small, & Kurths, 2017; Pokorny, y otros, 2018; McDonald & Hobson, 2018).

En términos de teoría de redes, la red de comercio internacional es una red ponderada y dirigida. La medida de elasticidad país-país toma en cuenta estas características de la red y uno de sus principales resultados intermedios es la generación de una matriz de elasticidades (que puede ser vista como una matriz de enlaces). A partir de este resultado se recupera una medida de centralidad de los nodos como se ha indicado anteriormente. No obstante, el presente trabajo dirige su atención al análisis de la matriz de enlaces en si misma. Mediante el uso de técnicas de clustering, se ha encontrado configuraciones de grupos de enlaces que permiten una caracterización de la red priorizando los enlaces y no los nodos. Para este propósito ha sido necesario pasar por un importante análisis descriptivo (EDA) de los datos

con el propósito de tener una intuición profunda del conjunto y establecer, entre otras cosas, los años representativos mediante el uso de pruebas no paramétricas como Kruskal-Wallis y la aplicación del método clúster herárquico para el análisis final de la red (Everitt, Landau, & Leese, 2001; Gordon, 1999).

1. Materiales y Métodos.

Las técnicas de clasificación se dividen en particional y jerárquica. En la primera es necesario establecer de antemano el número de grupos que se desea obtener. La agrupación jerárquica, por su parte, agrupa los datos con una secuencia de particiones anidadas, desde grupos únicos hasta un grupo que incluye a todos los individuos o viceversa. Los algoritmos jerárquicos aglomerativos comienzan considerando n grupos unitarios y proceden fusionando dichos grupos hasta lograr un sólo grupo con todos los individuos. Al considerar todo el tiempo grupos, en lugar de patrones individuales, los algoritmos jerárquicos requieren un criterio para comparar, por semejanza o diferencia, grupos de patrones. Esos criterios se conocen como funciones de enlace (*linkage functions*) y existen en varias formas (Xu & Wunsch, 2008). La

Figura 1 hace referencia a las más usadas: vecino más próximo, promedio y vecino más lejano. Sin embargo, la función de enlace de Ward es mejor que los enfoques tradicionales para el caso en el que se realiza la aplicación de este trabajo.

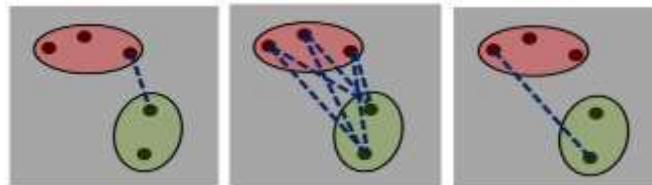


Figura 1: Diferentes funciones de enlace. a. Vecino más próximo. b. Promedio (average). c. Vecino más lejano (complete) . Fuente y elaboración: autores.

Siguiendo a (Xu & Wunsch, 2008), la Figura 2 presenta el flujograma del algoritmo algomeratico jerárquico y a continuación se listan los pasos a seguir:

1. Empieza con N grupos. Calcula la matriz de proximidad (de semejanza o diferencia) para los N grupos.
2. En la matriz de proximidad busca la distancia mínima $D(C_i, C_j) = \min_{1 \leq m, l < N, m \neq l} D(C_m, C_l)$ donde $D(\cdot, \cdot)$ es una función de distancia que combina los grupos C_i y C_j para formar un nuevo cluster C_{ij} .
3. Actualiza la matriz de proximidad calculando las distancias entre los grupos C_{ij} y los demás.
4. Repetir los pasos 2 y 3 hasta que únicamente quede un grupo.

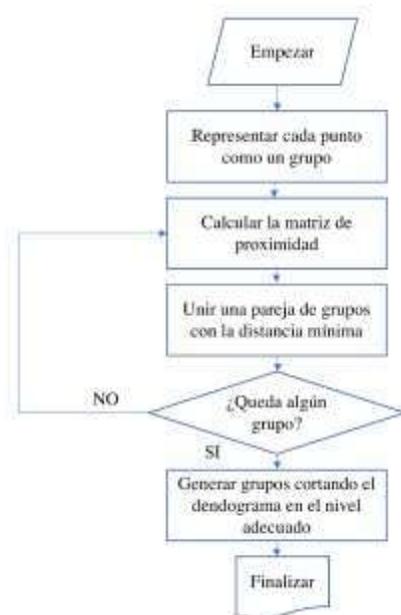


Figura 2: Flujograma del algoritmo alomeratico jerárquico. Fuente: (Xu & Wunsch, 2008).
Elaboración: autores.

Claramente, la función de distancia es crucial para la unión de dos grupos. Existen varias definiciones de distancias para realizar dicha unión. Entre las más utilizadas tenemos (Everitt, Landau, & Leese, 2001)

- Vecino más cercano: la distancia entre un par de grupos está determinada por los dos objetos más cercanos a los diferentes grupos (ver
- Figura 1a). Sin pérdida de generalidad, sean C_1 y C_2 un par de grupos cualesquiera. Entonces, $D_{single}(C_1, C_2) = \min_{o_i \in C_1, o_j \in C_2} \{f(o_i, o_j)\}$ donde f es una función de semejanza o diferencia.
- Promedio: La distancia entre dos grupos se define como el promedio de la distancia entre todos los pares de puntos de datos, cada uno de los cuales proviene de un grupo diferente (ver figura
- Figura 1b). Sin pérdida de generalidad, sean C_1 y C_2 un par de grupos cualesquiera. Entonces, $D_{average}(C_1, C_2) = \frac{1}{|C_1||C_2|} \sum_{o_i \in C_1} \sum_{o_j \in C_2} f(o_i, o_j)$ donde $|\cdot|$ denota la cardinalidad del conjunto y f es una función de semejanza o diferencia.
- Vecino más lejano: utiliza la distancia más alejada de un par de objetos a una distancia entre grupos definida (ver
- Figura 1c). Sin pérdida de generalidad, sean C_1 y C_2 un par de grupos cualesquiera. Entonces, $D_{complete}(C_1, C_2) = \max_{o_i \in C_1, o_j \in C_2} \{f(o_i, o_j)\}$ donde f es una función de semejanza o diferencia. Esta función de enlace es particularmente útil para encontrar grupos pequeños y compactos.

- Ward: también conocido como el método de varianza mínima. La distancia entre dos grupos se basa en la la distancia euclideana entre sus centroides⁷ y multiplicado por un factor,

$$D^2_{ward}(C_1, C_2) = \frac{2|C_1||C_2|}{|C_1|+|C_2|} \|\bar{x}(C_1) - \bar{x}(C_2)\|^2. \text{ El objetivo de la distancia de Ward es minimizar el incremento del error cuadrático dentro del grupo dado por } E(C) = \sum_{i \in C} \|x_i - \bar{x}(C)\|^2.$$

Nuestro análisis parte de los resultados obtenidos en (Pérez-Oviedo, Cajas-Guijarro, & María, 2017). Su trabajo contiene una propuesta para medir la centralidad de los países. En términos de redes, se realiza una metodología de medición de centralidad de una red ponderada y dirigida que caracteriza a los nodos de la red. Con este objetivo calculan una matriz de elasticidad país-país, exógenamente se asigna un shock en el ingreso de un país, lo que incrementa las importaciones de ese país, y tiene efectos sobre toda la red. Luego combinan esta información con el PIB de los países de la red para obtener el indicador de centralidad de cada país. El presente trabajo, por otra parte, caracteriza la matriz de elasticidad país-país. Es decir, se usa esta matriz para cada año del período 1992-2015 para analizar sus enlaces desde una perspectiva de clusters.

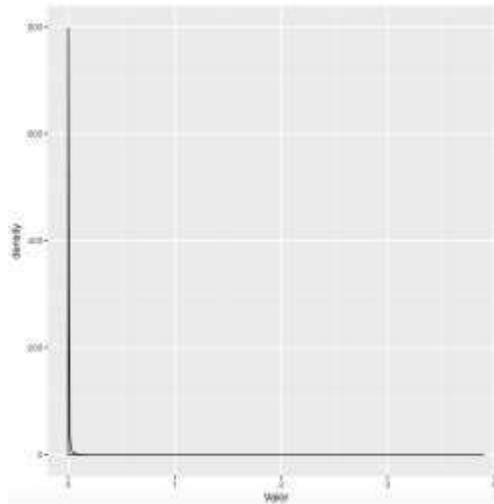


Figura 3: Densidad empírica de la elasticidad para el período 1992-2015. Fuente: (Pérez-Oviedo, Cajas-Guijarro, & María, 2017). Elaboración: autores.

La primera pregunta que exploramos en esta sección es la estructura de la elasticidad calculada para cada par de países en el período de estudio. Se desea establecer si ha existido cambios significativos en dicha estructura. El rango de la elasticidad se encuentra en el

⁷ El centroide de un grupo ν se define como un punto en el espacio p -dimensional que se encuentra al promediar los valores de medición a lo largo de cada dimensión (variable). Por ejemplo, su f -ésima coordenada es $\bar{x}(\nu) = \frac{1}{n_\nu} \sum_{i \in C_\nu} x_{if}$, donde C_ν representa el conjunto de índices del grupo ν (que contiene n_ν objetos). Así, el centroide del grupo ν está dado por $\bar{x}(\nu) = (\bar{x}_1(\nu), \bar{x}_2(\nu), \dots, \bar{x}_p(\nu))$.

intervalo de 0 a 3.9 para todo el período y, como se puede apreciar en la Figura 3 su distribución es marcadamente asimétrica. Por lo tanto, se realiza un gráfico de la densidad empírica del logaritmo de la elasticidad para cada año (

Figura 4).

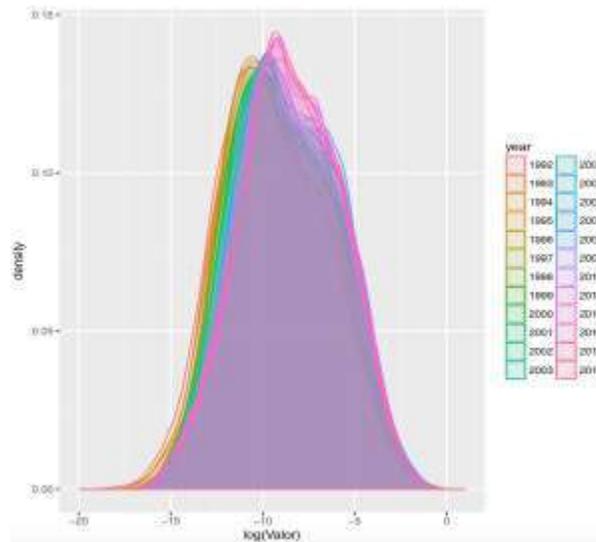


Figura 4: Densidad de la elasticidad por año para el período 1992-2015. Fuente: (Pérez-Oviedo, Cajas-Guijarro, & María, 2017). Elaboración: autores.

Contrariamente al comportamiento de la variable en niveles, la

Figura 4 mejora la visualización de mediante la transformación logarítmica de la elasticidad. También sugiere que no se debe asumir una distribución normal si se desea analizar los datos desde un punto de vista paramétrico. Además se aprecia que la media de la distribución crece, siendo -9.5039 en 1992 y -8.5904 en el 2015. Una forma de explorar dichas diferencias puede ser a través de diferentes ventanas de tiempo dentro del período analizado. Por ejemplo, el período 1992-1996 parece tener una media por debajo del período 2011-2015.

Tabla 1. Prueba de Kruskal-Wallis para el logaritmo de la elasticidad en el período 1992-2015. Fuente y elaboración: autores.

Año (i)	Año (j)	p-valor
1993	1994	0.17
1997	1998	0.44

1997	1999	0.97
1998	1999	0.46
2000	2001	0.84
2000	2002	0.12
2000	2003	0.84
2001	2002	0.08
2001	2003	0.67
2002	2003	0.17
2004	2009	0.06
2005	2009	0.47
2005	2010	0.08
2005	2015	0.14
2006	2007	0.14
2006	2010	0.59
2006	2015	0.41
2008	2011	0.39
2008	2012	0.39
2008	2013	0.19
2010	2015	0.79
2011	2012	0.09
2012	2013	0.65
2012	2014	0.25
2013	2014	0.48

Con el objetivo de responder más apropiadamente a las anotaciones precedentes se han realizado pruebas de Kruskal-Wallis (KW), para todo el período, indicando que si se rechaza la hipótesis nula se trataría de poblaciones diferentes y la variable analizada cambia durante el período analizado. Bajo este razonamiento, la tabla 1 presenta los p -valores de la prueba KW realizada para cada pareja de años donde no se rechaza la hipótesis nula. En base a la tabla 1, se puede apreciar que hay tres años que se diferencian de casi todos los demás: 1992, 1995 y 1996. Asimismo, se puede usar años representantes de algún período. Por ejemplo, el año 2001 no presenta diferencias significativas, hacia atrás con el 2000, ni hacia adelante con 2002 y 2003. Por lo tanto, el año 2001 podría ser considerado como un representante del período 2000-2003.

Se ha establecido que la elasticidad analizada es una variable asimétrica y que es apropiada una transformación logarítmica para acceder a su mejor entendimiento. Los valores mínimo, media, mediana y máximo de la elasticidad transformada para todo el periodo son: -19.14 , -8.78 , -8.92 y 1.36 . Estos valores, y las densidades empíricas de la

Figura 4, muestran que la transformación puede considerarse como aproximadamente simétrica. No obstante, el rango de sus valores sigue siendo cercano. Por lo tanto, al explorar la elasticidad en el marco de algoritmos de clasificación, el indicador within será quien guíe la decisión del mejor algoritmo a usarse.

Recordemos que la centralidad en (Pérez-Oviedo, Cajas-Guijarro, & María, 2017) es calculada a partir de la elasticidad y el porcentaje del PIB, luego se aplica la metodología resumida en la introducción, obteniendo una carterización de nodos. Utilizando las mismas variables para la construcción de la centralidad, este trabajo busca una caracterización de los links de la red de comercio internacional mundial. Por lo tanto, la matriz de entrada (conjunto de patrones) que se ha usado en los algoritmos de clasificación está compuesta de parejas de links en las filas (objetos) y en las columnas las variables (atributos): elasticidad, porcentaje de PIB del país de origen y destino, tres variables en total.

Tabla 2. Estadísticos de clasificación para los años referencia: 1993, 2001 y 2015. Fuente: y elaboración: autores.

Años	Algoritmo	Within	Between
1993	Single	0.626	9.151
	Complete	0.48	8.163
	Average	0.505	8.442
	Ward	0.088	1.506
2001	Single	0.624	11.644
	Complete	0.541	8.792
	Average	0.589	11.093
	Ward	0.105	1.352
2015	Single	0.772	10.453
	Complete	0.573	8.307
	Average	0.582	8.393
	Ward	0.12	1.355

La Tabla 2 muestra los estadísticos de clasificación within y between que usan una métrica de distancia dentro de los grupos y entre grupos respectivamente. Se puede apreciar que el algoritmo de Ward es el que presenta mayor cercanía dentro de los clusters, lo cual es deseable en nuestro caso debido al bajo rango de las variables de entrada. Por lo tanto, para la caracterización de los links se hace uso del algoritmo de Ward, con esta elección de algoritmo analizamos tres años de referencia (1993, 2001 y 2015) desde un enfoque temporal de la clasificación jerárquica donde se realiza una evaluación más exhaustiva.

2. Resultados.

Como se ha mencionado, existen propuestas de clasificación que tienen por objeto darle más

énfasis a heterogeneidad entre grupos, por lo que el indicador between es el que guía la clasificación (Newman & Girvan, 2004). Este trabajo, por otro lado, guía la clasificación apoyándose en el indicador within, siendo el método Ward el más apropiado para nuestro análisis.

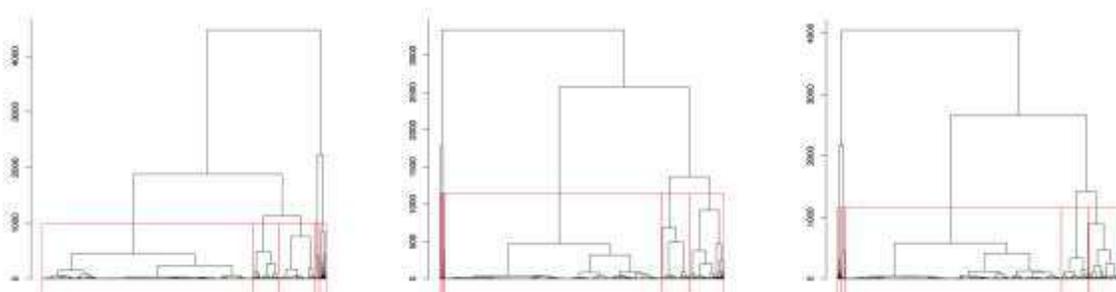
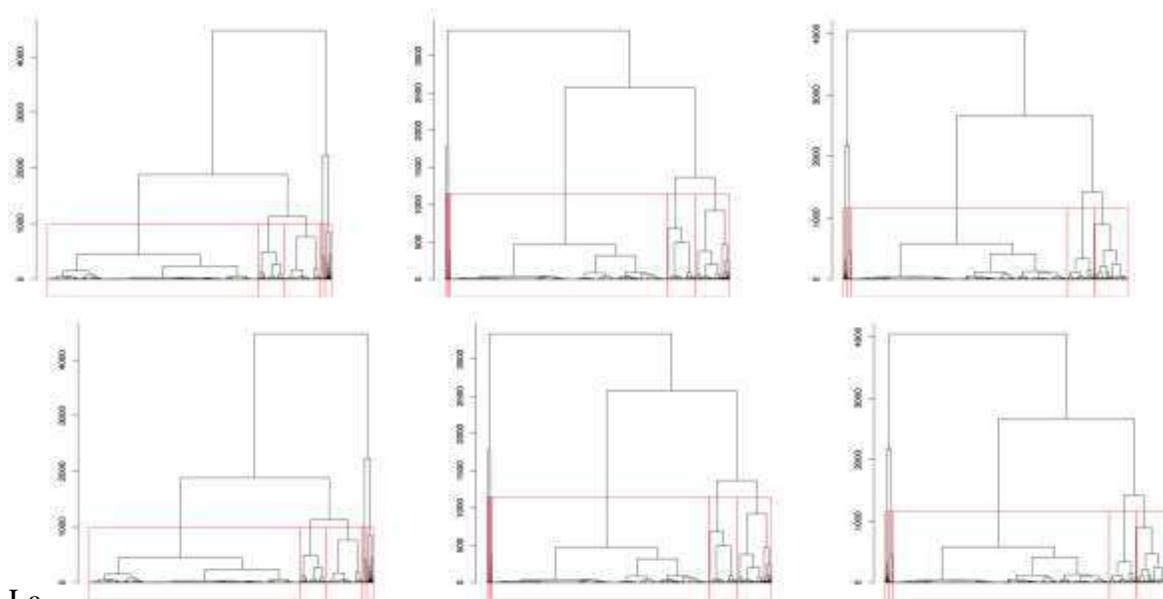


Figura 5: Dendogramas de los años 1993, 2001 y 2015 (de izquierda a derecha). Fuente y elaboración: autores.



La

Figura 5 presenta los clusters jerárquicos para los años seleccionados para el análisis. Se puede apreciar que existe un cambio de estructura en los dendogramas a través del tiempo, principalmente entre 1993 y 2001. Las líneas en rojo muestran el corte de cada dendrograma de modo que se generen cinco grupos de links para cada año. La *Figura 6* muestra la frecuencia de links que pertenecen a cada uno de los grupos. Existe homogeneidad en cuanto al número de links por grupos en cada año. Además, la *Tabla 3* muestra el valor de la elasticidad utilizada en la agrupación jerárquica.

Tabla 3. Mediana del logaritmo de la elasticidad normalizada para los años 1993, 2001 y 2015. Fuente y elaboración: autores.

Año	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5
1993	-0.169	0.202	2.779	-0.167	-0.167
2001	-0.182	0.29	2.974	-0.179	-0.182
2015	-0.198	0.328	1.455	-0.190	-0.191

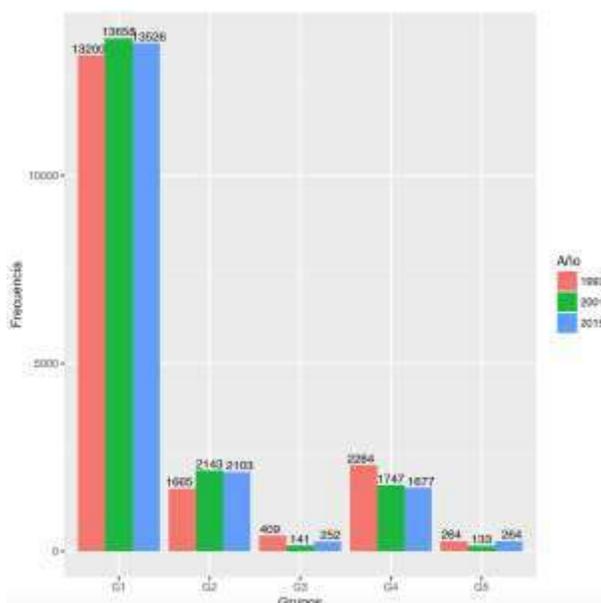


Figura 6: Número de enlaces por año y grupo. Fuente y elaboración: autores.

Con esta información, la jerarquía de los grupos en orden descendente es: 3, 2, 4, 5 y 1. Para caracterizar los grupos, la Tabla 4 muestra la frecuencia con la que se repite los cinco primeros país de origen y destino en los grupos 1, 3 y 5. El grupo 3, que es el de mayor importancia, parte en 1993 con Japón, Estados Unidos, Gran Bretaña y Francia como los países de mayor frecuencia. Luego en 2001, aparecen en el top 5 China y España, desplazando a Francia y Gran Bretaña. Después, en 2015 se quedan Estados Unidos y China como los únicos países que aparecen como países de destino en este grupo. El grupo 5, que es el penúltimo en importancia, parte en 1993 con Japón y Estados Unidos como los únicos países que aparecen como origen. En 2001 tan solo se queda Estados Unidos en esa condición. Luego, en año 2015, China pasa a acompañar a Estados Unidos en este grupo.

Tabla 4. Frecuencia los cinco países de mayor repetición de origen y destino en cada grupo para los años 1993, 2001 y 2015. Fuente y elaboración: autores.

1993	G1	Destino	País	BLR	DOM	HTI	KAZ	KGZ
			Frecuencia	120	120	120	120	120
		Origen	País	POL	FIN	IDN	ARG	AUT
			Frecuencia	119	116	116	115	114
	G3	Destino	País	SGP	MYS	NGA	SUR	BEL
			Frecuencia	12	9	8	8	7

		Origen	País	JPN	USA	GBR	DEU	FRA
			Frecuencia	133	133	26	23	23
	G5	Destino	País	JPN	USA			
			Frecuencia	132	132			
		Origen	País	ALB	ARG	ARM	ATG	AUS
			Frecuencia	2	2	2	2	2
2001	G1	Destino	País	BTN	HTI	KNA	NPL	PLW
			Frecuencia	120	120	120	120	120
		Origen	País	ALB	ARM	ATG	AZE	BDI
			Frecuencia	118	118	118	118	118
	G3	Destino	País	GNQ	ATG	BLR	BRN	HUN
			Frecuencia	3	2	2	2	2
		Origen	País	USA	DEU	JPN	CHN	ESP
			Frecuencia	133	2	2	1	1
	G5	Destino	País	USA				
			Frecuencia	133				
		Origen	País	ALB	ARG	ARM	ATG	AUS
			Frecuencia	1	1	1	1	1
2015	G1	Destino	País	BDI	BGD	BTN	GMB	GRD
			Frecuencia	118	118	118	118	118
		Origen	País	ALB	ATG	AZE	BDI	BHS
			Frecuencia	118	118	118	118	118
	G3	Destino	País	ALB	ARG	ARM	ATG	AUS
			Frecuencia	2	2	2	2	2
		Origen	País	USA	CHN			
			Frecuencia	129	123			
	G5	Destino	País	CHN	USA			
			Frecuencia	132	132			
		Origen	País	ALB	ARG	ARM	ATG	AUS
			Frecuencia	2	2	2	2	2

Habiendo obtenido los conglomerados generados a partir de los enlaces de la red de comercio internacional, es natural analizar esta configuración en términos de su evolución. La Figura 7 muestra los enlaces de la red divididos en grupos para los años 1993, 2001 y 2015. Se aprecia que la estructura económica del 2001 difiere considerablemente de los demás años. Por ejemplo, el grupo 3 deja de tener fuerza en Rusia y el grupo 1 toma el liderazgo. También se aprecia que el grupo 2 gana mercado paulatinamente en los años analizados.

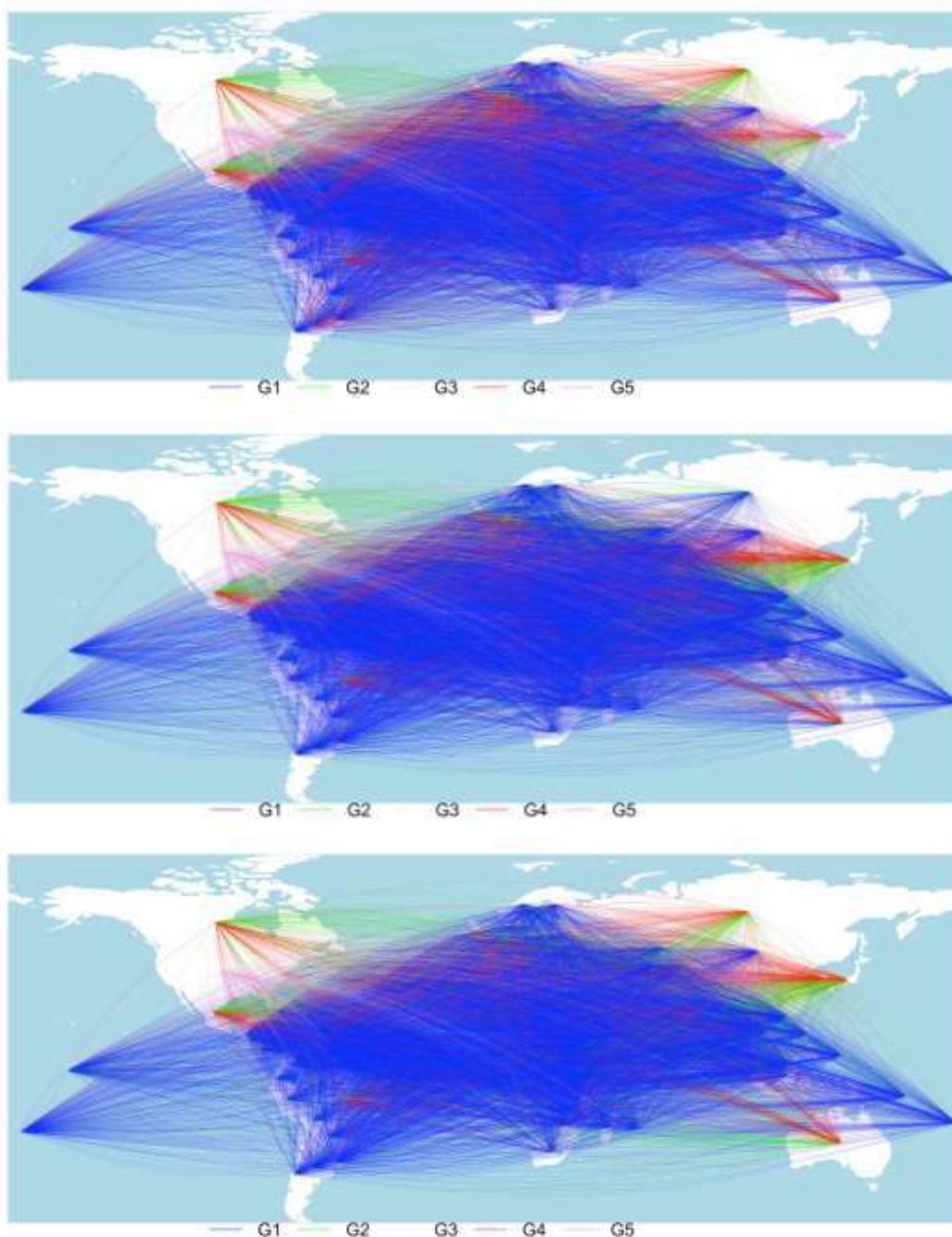


Figura 7: Evolución de la red de comercio internacional dividida en clusters. De arriba hacia abajo: 1993, 2001 y 2015. Fuente y elaboración: autores.

Otro contraste interesante de los grupos obtenidos se presenta en la Figura 8, esta vez poderando los enlaces en función de sus valores de elasticidad. Consecuentemente con el análisis anterior, el grupo 3 nuevamente gana mercado en la evolución. Se aprecia un efecto de incremento en las relaciones comerciales entre América y los demás continentes, presumiblemente un efecto esperado de la globalización. Asimismo es posible apreciar un

comportamiento similar del grupo 1 entre el 2001 y el 2015. Cabe notar que el grupo 1 era el más sobresaliente en la Figura 7, sin embargo, al tomar en cuenta la ponderación de los enlaces, su importancia se ve afectada.

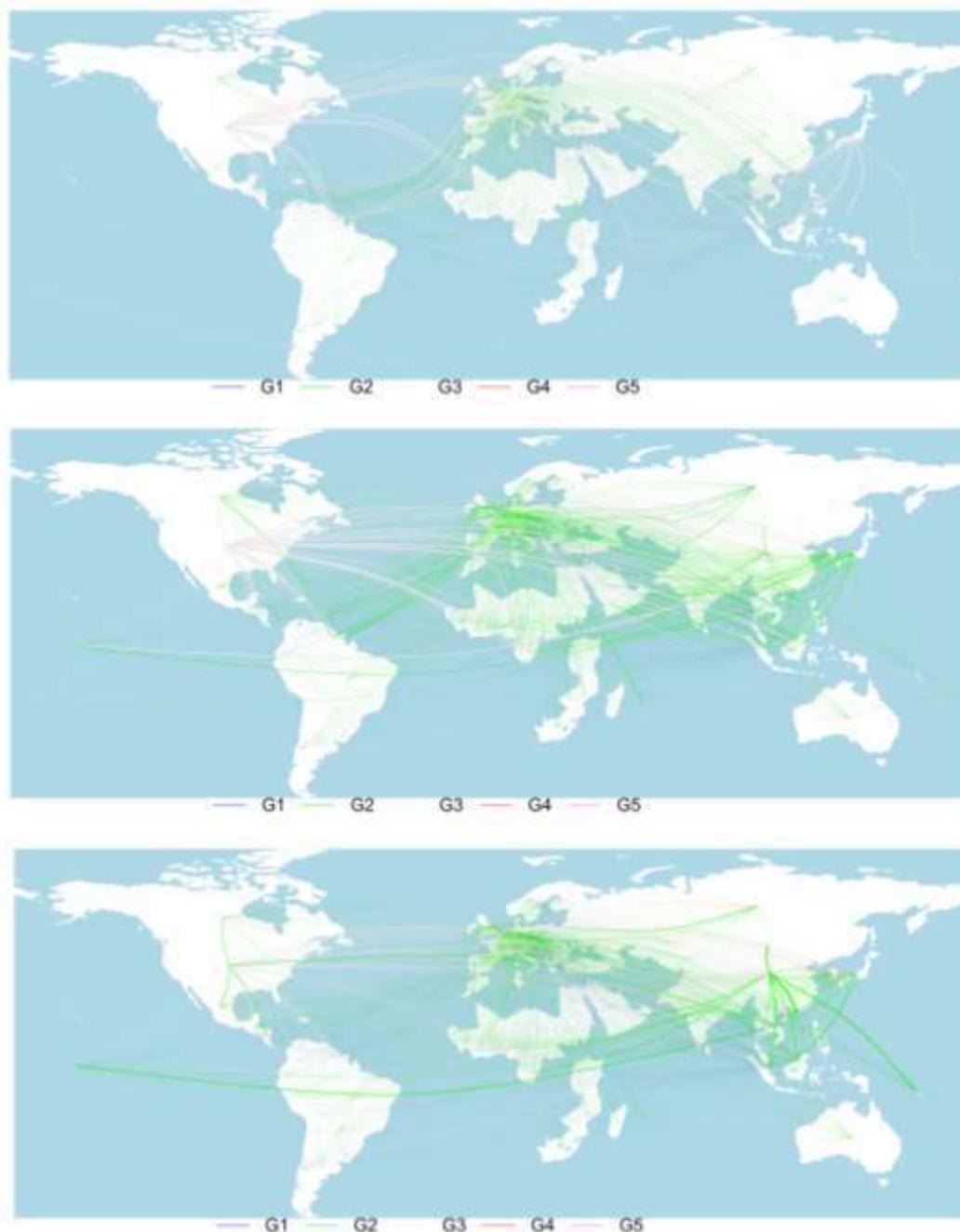


Figura 8: Evolución de la red de comercio internacional dividida en clusters y ponderada por elasticidad. De arriba hacia abajo: 1993, 2001 y 2015. Fuente y elaboración: autores.

Finalmente, la Figura 9 presenta al grupo 5 aislado del resto para poder apreciar su evolución

de forma expedita. Se aprecia como nodos centrales a Estados Unidos y Japón en el 1993. Luego, en el 2001 Japón pierde relevancia dentro del grupo pero la recupera, aunque no con la misma intensidad, para el 2015. Respecto a 1992, el año 2015 muestra relaciones que previamente no se habían establecido. Por ejemplo, se han generado varios enlaces comerciales con países africanos. Además, es notable la centralidad que ocupa China para el 2015 luego que Japón ha perdido relevancia en este grupo de enlaces.

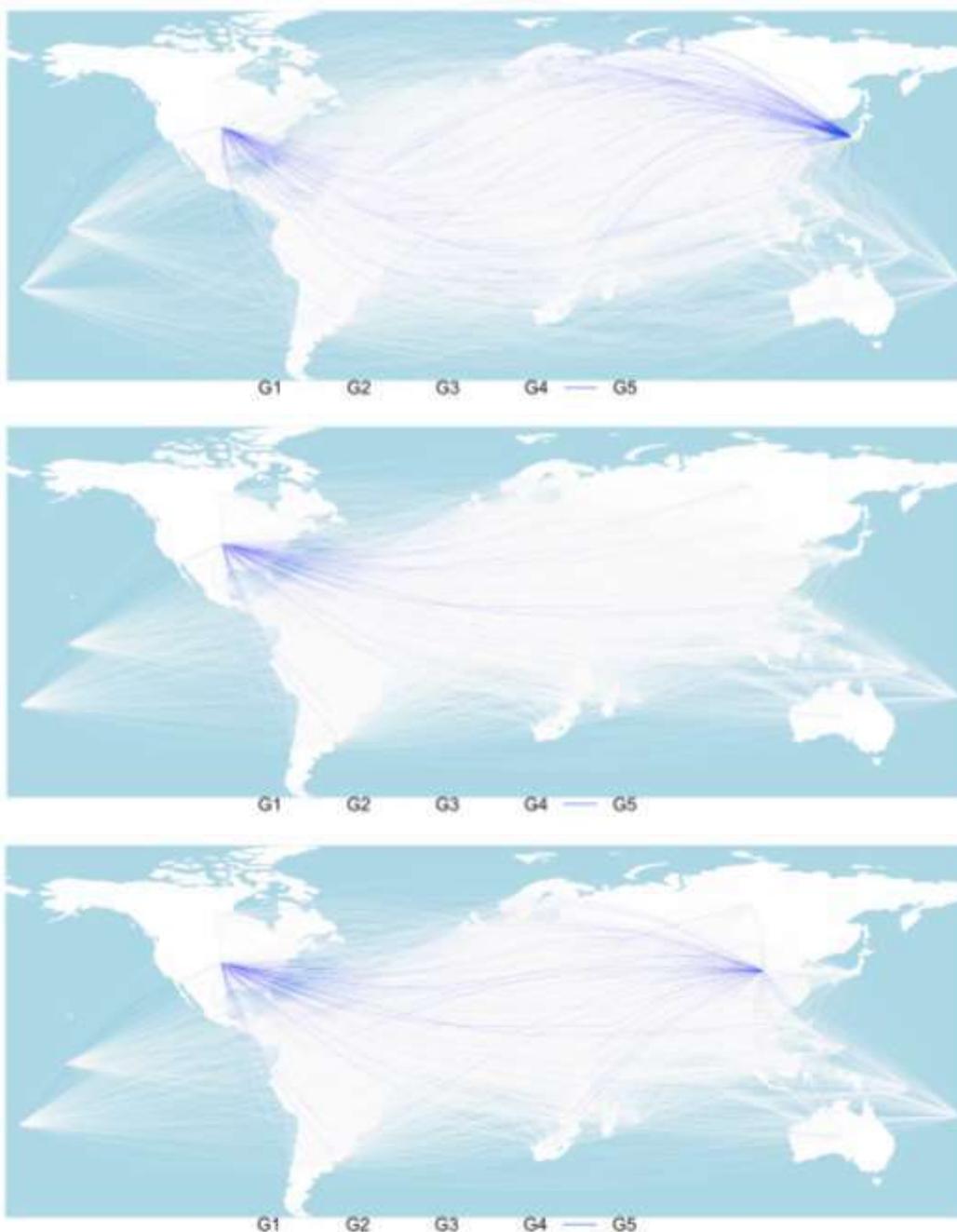


Figura 9: Evolución del grupo 5 en la red de comercio internacional. De arriba hacia abajo: 1993, 2001 y 2015. Fuente y elaboración: autores.

3. Discusión.

Una de las innovaciones del presente trabajo es el campo de aplicación de las técnicas clúster. Precisamente, en el contexto del análisis de la matriz de las elasticidades país-país y su configuración de grupos legibles en la evolución de la red de comercio internacional. Por este motivo, esta aplicación puede servir de insumo para analistas económicos de comercio internacional de modo que puedan dar evidencia de las estructuras de comercio a las que están ancladas los diferentes países del mundo. Ubicando las centralidades desde una perspectiva del enlace y no únicamente desde los nodos analizados.

Es claro que las consideraciones aquí tomadas pueden tener otros abordajes. Por ejemplo, la configuración de grupos es siempre un debate abierto en la literatura estadística. Se podría incluir variables nominales u ordinales como la presencia o no de pactos bilaterales entre países lo cual podría re configurar los grupos y dar evidencia de nuevas alianzas entre países. También sería posible variar la técnica de cluster, pasando del enfoque jerárquico aquí presentado y orientar la investigación a través de clasificaciones supervizadas y no supervizadas no jerárquicas. La selección de los años para la intuición de la evolución de la red también admite técnicas de otro tipo. Por ejemplo, en cada año i) se podría estimar la función de distribución acumulativa empírica (ecdf), ii) generar números aleatorios usando el método de transformación inversa y, iii) un determinado número de réplicas de indicadores de centralidad y así tener la estimación de la ecdf de cada país. Los pasos anteriores podrían permitir realizar pruebas no paramétricas para determinar si existen diferencias significativas en las medidas de centralidad de los países.

Pese a las posibles particularidades que susceptibles de modificación en el proceso que se ha seguido, claramente este trabajo es una invitación a la exploración y aplicación de técnicas que permitan dar cuenta de la estructura de la red de comercio. En este sentido, se ha planteado una meta metodología: dada una ventana de tiempo de una red de comercio, i) resaltar las variaciones anuales y así seleccionar años relevantes de la ventana de tiempo, ii) seleccionar una técnica cluster adecuada para clasificar enlaces de una red, y iii) presentar evolutivamente los resultados en forma de mapas que den cuenta de la interacción de los resultados con las centralidades de los nodos.

Agradecimiento.

Los autores agradecen la colaboración de Wilson Pérez-Oviedo y John Cajas-Guijarro en el desarrollo del presente trabajo.

Referencias bibliográficas.

- gervais, d. J., & gervais, d. J. (1998). *The trips agreement: drafting history and analysis* (vol. 2). Inglaterra: sweet & maxwell london.
- Ruse-khan, & grosse, h. (2018). From trips to ftas and back: re-conceptualising the role. *Netherlands yearbook of international law 2017: shifting forms and levels of cooperation in international economic law: structural developments in trade, investment and financial regulation*, 48, 57.
- Park, w. G. (2008). International patent protection: 1960 2005. *Research policy*, 37(4), 761-766.
- Hoekman, b., mattoo, a., & english, p. (2002). *Development, trade, and the wto: a handbook, the world bank*. Washington: world bank.
- Matthews, d. (2003). *Globalising intellectual property rights: the trips agreement*. Routledge.
- Bergstrand, j. H. (1985). The gravity equation in international trade: some microeconomic foundations and empirical evidence. *The review of economics and statistics*, 474-481.
- Mátyás, I. (1997). Proper econometric specification of the gravity model. *World economy*, 20(3), 363-368.
- Van bergeijk, p. A. (2010). *The gravity model in international trade: advances and applications*. Cambridge university press.
- Kolaczyk, e. D., & csárdi, g. (2014). *Statistical analysis of network data with r* (vol. 65). Nueva york: springer.
- Françoisse, k., kivimäki, i., mantrach, a., rossi, f., & saerens, m. (2017). A bag-of-paths framework for network data analysis. *Neural networks*, 90, 90-111.
- Sabidussi, g. (1966). The centrality index of a graph. *Psychometrika*, 31(4), 581-603.

- Freeman, I. C. (1977). A set of measures of centrality based on betweenness. *Sociometry*, 35-41.
- Gao, z.-k., small, m., & kurths, j. (2017). Complex network analysis of time series. *Epl (europhysics letters)*, 116(5).
- Pokorny, j. J., norman, a., zanesco, a. P., bauer-wu, s., sahdra, b. K., & saron, c. D. (2018). Network analysis for the visualization and analysis of qualitative data. *Psychological methods*, 23(1), 169.
- Mcdonald, d. B., & hobson, e. A. (2018). Edge weight variance: population genetic metrics for social network analysis. *Animal behaviour*, 136, 239-250.
- Everitt, b. S., landau, s., & leese, m. (2001). Cluster analysis. En *international geophysics* (vol. 100, págs. 603-616). Inglaterra.
- Gordon, a. D. (1999). *Classification* (vol. 2). Inglaterra: chapman and hall.
- Xu, r., & wunsch, d. (2008). *Clustering* (vol. 10). John wiley & sons.
- Newman, m. E., & girvan, m. (2004). Finding and evaluating community structure in networks. *Physical review e*, 69(2).
- Pérez-oviedo, w., cajas-guijarro, j., & maría, v. (2017). South america: trade and integration in the new global trade network. En e. Vivares, *regionalism, development and the post-commodities boom in south america* (págs. 121-145). Estados unidos: springer.
- Goldenberg, a., zheng, a. X., fienberg, s. E., & airoidi, e. M. (2010). A survey of statistical network models. *Foundations and trends in machine learning*, 2(2), 129-233.



Para citar el artículo indexado.

Morales-Oñate V., Morales-Oñate B. (2018). Análisis Cluster de la Red de Comercio Internacional entre 1992 y 2015. *Revista electrónica Ciencia Digital* 2(4), 23-41. Recuperado desde:

<http://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/view/188/16>

[6](#)

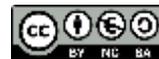


El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Ciencia Digital**.

El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Ciencia Digital**.



Comparativa entre classification trees, random forest y gradient boosting; en la predicción de la satisfacción laboral en Ecuador.



Comparison between classification trees, random forest and gradient boosting; in the prediction of job satisfaction in Ecuador.

Vinicio Alexander Andrade Saltos.⁸, Pablo Flores M.⁹

Recibido: 09-07-2017 / Revisado: 10-09-2018 Aceptado: 13-10-2018/ Publicado: 01-11-2018

Abstract.

DOI: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v2i4.1..189>

In order to find an adequate model to predict the Level of Job Satisfaction in Ecuador, three prediction models based on trees were compared. The "Random Forest" and "Gradient Boosting" models are considered more complex than the "Classification Tree" model and suppose better results; however, when applied to a database obtained from the National Survey of Employment, Unemployment and Underemployment; it was found that the criteria and efficiency of prediction are similar for the three models, reaching approximately 30% error in the classification.

It was concluded that not necessarily a more complex model obtains more precise results.

Keywords: Classification trees, random forest, gradient boosting, job satisfaction, data mining, ENEMDU.

Resumen.

Con el objetivo de encontrar un modelo adecuado para predecir el Nivel de Satisfacción Laboral en Ecuador, se compararon tres modelos de predicción basados en árboles. Los modelos "Random Forest" y "Gradient Boosting" se consideran más complejos que el modelo "Classification Trees" y suponen mejores resultados; sin embargo, al aplicarlos sobre una base de datos obtenida a partir de la Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo; se encontró que los criterios y eficiencia de predicción son similares para los tres modelos, alcanzando aproximadamente un 30% de error en la clasificación.

Se concluyó que no necesariamente un modelo más complejo obtiene resultados más precisos.

Palabras Claves: árboles de clasificación, bosques aleatorios, gradient boosting, satisfacción laboral, minería de datos, ENEMDU.

⁸ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Grupo de Investigación en Ciencia de Datos CISED, Riobamba - Ecuador, vaas_92@hotmail.com

⁹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Grupo de Investigación en Ciencia de Datos CISED, Riobamba - Ecuador, p_flores@epoch.edu.ec

Introducción .

El objetivo principal del análisis predictivo es obtener modelos, los cuales, mediante una muestra, permitan predecir una variable objetivo para nuevas observaciones en función de un conjunto de variables predictivas. Dependiendo de esta variable de interés, distinguimos entre tareas de clasificación, cuando dicha variable es categórica, clasificando un nuevo individuo en la categoría de la variable que predice el modelo o tareas de regresión cuando la variable es numérica, obteniendo un valor estimado por el modelo para un nuevo individuo (Torgo, 2003). De acuerdo al tipo de tarea que se realice, se pueden proponer diferentes indicadores que permitan determinar la calidad de predicción del modelo.

Uno de los análisis predictivos que más trascendencia y evolución ha tenido en el campo de la minería de datos, es aquel que se basa en modelos de árboles (Classification Trees) (Rokach & Maimon, 2008). Empezando con un desarrollo teórico de la idea (Leo, Friedman, Olshen, & Stone, 1984), el estudio ha ido evolucionando hasta poder ser explicado mediante un enfoque menos formal (Quinlan, 2014; Torgo, 1999), lo cual ha permitido implementar estos modelos a través de algoritmos computacionales (Therneau & Beth, 2018). El proceso algorítmico para desarrollar este modelo consiste básicamente en agrupar a los individuos de acuerdo a las diferentes interacciones que se puedan formar con las distintas variables explicativas. En todas las posibles categorías cruzadas se mide la frecuencia observada respecto a la variable objetivo (variable de salida); luego, las ramas se empiezan a abrir de acuerdo a las frecuencias más relevantes de las variables predictivas (variables de entrada) con las separaciones más grandes que se pueda formar. A menos que exista un indicador que permita podar el árbol, el proceso se sigue repitiendo hasta encontrar categorías para las cuales las frecuencias respecto de la variable objetivo dejan de ser relevantes.

A partir de la idea de árboles de decisión, se han creado algoritmos más complejos con el fin de mejorar el nivel de precisión de la predicción. El problema que presentan los modelos de árboles, es que, al seguir un algoritmo secuencial, siempre eligen a las mismas variables de acuerdo a su nivel de relevancia en términos de frecuencia; lo cual, da una exploración del espacio de variables demasiado acotada, esto podría derivar en la omisión de un grupo de variables predictivas que quizás son importantes en el contexto del estudio. Se proponen entonces nuevos métodos más complejos que consisten en construir múltiples árboles en sub-espacios aleatorios del espacio de variables, lo cual permite generalizar su clasificación de manera complementaria, y su clasificación combinada puede ser mejorada monótonamente (Kam, 1995).

Al respecto de los modelos más complejos, uno muy utilizado es el denominado “Random Forest” (Breiman, 2001); el cual, es una versión mejorada de modelos que llevan esta misma idea de múltiples árboles en sub-espacios aleatorios como el “bagging” (Breiman, 1996). El algoritmo para construir un random forest, consiste básicamente en seleccionar

aleatoriamente m grupos disjuntos de variables aleatorias independientes, sobre cada uno de los cuales se creará un árbol; luego, se promedia la capacidad de predicción de todos los m árboles formados, teniendo así un modelo que podría incluir una variable que posiblemente sea relevante para la predicción del objetivo, pero que quizás si se construyera un solo árbol no se la tomaría en cuenta debido a su baja frecuencia con relación a la variable de salida. Otro modelo muy usado es el denominado “Extreme Gradient Boosting” (Breiman, 1997), la diferencia básica de este modelo es que mientras en el random forest los árboles son formados por conjuntos de variables independientes, el Extreme Gradient Boosting construye árboles de manera secuencial, donde cada nuevo árbol es creado de acuerdo al margen de error que dejan las variables peor clasificadas por el árbol anterior, hasta que el algoritmo llega a estabilizarse y el desempeño de todos los árboles combinados alcanza un umbral máximo de ajuste.

En el presente trabajo se construyen estos tres modelos, basados en las técnicas previamente descritas (Modelo de árbol, Random Forest y Extreme Gradient Boosting) con el fin de comparar la calidad de predicción del nivel de satisfacción laboral de los jefes de hogar en Ecuador; para lo cual, se utilizó información recogida por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) mediante la Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo (ENEMDU) de diciembre del 2017.

El nivel de satisfacción laboral constituye un factor clave en el desempeño de la población económicamente activa, el cual afecta directamente al funcionamiento de una organización (Rowden, 2002) por lo que se recomienda incrementarlo (Friday & Friday, 2003). Un elemento clave para cumplir este objetivo es conocer el comportamiento que describe esta variable de interés; por ello, se busca definir un modelo que pueda caracterizarla con precisión.

Metodología de análisis.

Obtención de la base de datos.

La base de datos con los individuos y variables de interés se importó utilizando el paquete base del software estadístico R (Team, 2016). Es importante señalar que, a partir de diciembre 2003, la ENEMDU se realiza bajo un esquema de panel de viviendas seleccionadas en una submuestra; la cual, se mantiene en la muestra durante dos trimestres consecutivos, seguido de un descanso de un semestre y finalmente entran en la muestra por dos últimos trimestres. En cada edición de la ENEMDU, la información se divide en módulos o subconjuntos con objetivos específicos de información. Particularmente, en diciembre del 2017 existen ocho módulos (15 años, ambiente, armonía, consumidor, financiero, hábitos, salud y seguridad, vivienda).

En total la encuesta es aplicada en 31092 viviendas, seleccionadas por muestreo probabilístico cuya población objetivo está conformada por personas de 5 años y más. Luego de un proceso de unión de módulos y filtro de variables e individuos se consiguió una base de datos formada por 27841 observaciones, correspondientes a todos los jefes de hogar encuestados que tienen un único trabajo, sobre los cuales se filtraron las variables mostradas en la Tabla 1, mismas que fueron seleccionadas tomando en cuenta su posible relación teórica (desde un punto de vista socio - económico) con la satisfacción laboral. Para esto, se creó una variable de identificación concatenando los valores de las variables: área, ciudad, conglomerado, zona, sector, panel, vivienda y hogar; en un solo vector de tipo carácter, la cual sirvió en el proceso de unión de los módulos 15 años y armonía; y en la discriminación de los individuos.

Tabla 1. Variables utilizadas para predecir la satisfacción laboral.

Código	Variable	Código	Variable
p59	¿Cómo se siente en su trabajo?	p47b	Número personas trabajan en el establecimiento
p02	Sexo	seg019	Seguridad en el trabajo
p03	Edad	p61a5	¿Ha recibido capacitación para prevenir accidentes y minimizar los riesgos de su trabajo actual?
p06	Estado civil	p61a61	Durante los últimos 12 meses, ¿ha sufrido algún accidente desempeñando su trabajo actual?
p15	¿Cómo se considera? (Indígena, Negro, Mulato, Mestizo, ...)	p61a7	¿Ha sufrido alguna enfermedad causada por las actividades de su trabajo actual?
p42	Categoría de ocupación (Empleado de gobierno, Empleado privado, Patrono, ...)	p61a8	¿Cree que su seguridad o salud está expuesta a riesgos por lo que desempeña en su trabajo actual?
p61a2	¿Cree que conservar su trabajo actual durante los siguientes 12 meses es probable?	p71a	¿Recibió ingresos derivados del capital?
p45	¿Cuántos años trabaja?	ingr1	Ingreso del trabajo
p61a12	¿Desde hace cuánto tiempo empezó su trabajo actual, de manera continua? (Años)	SECEMP	Sectores de los Empleados (Sector Formal, Sector Informal, Sector Doméstico, ...)
p51a	Horas de trabajo principal	grupo1	Grupo de Ocupación (Empleados de Oficina, Fuerzas Armadas, Profesionales Científicos e Intelectuales, ...)
AR02	¿Considera que su hogar es pobre?	rama1	Rama de actividad (Industrias manufactureras, Actividades financieras y de seguros, ...)
p27	¿Desea trabajar más horas?	p10a	Nivel de instrucción
p46	Sitio de trabajo	p14	Idioma que habla
p47a	Tamaño del establecimiento	p79	¿Practicó algún deporte la semana pasada?

La variable objetivo “Satisfacción laboral” presenta cuatro categorías (Contento, Poco contento, Descontento pero conforme y Totalmente descontento); pero, dado que por el interés del presente estudio, las dos últimas miden lo mismo y además ambas presentan una frecuencia relativa considerablemente baja (mostrado en figura 1), estas se unen en una sola categoría denominada “Descontento”. En este punto, es preciso indicar que los resultados de los modelos son similares al unirse o no estas categorías; por efectos prácticos se trabajó con la opción que fusiona las frecuencias. Dado que la variable objetivo es de tipo ordinal, los modelos predictivos basados en árboles que se apliquen realizarán tareas de clasificación.

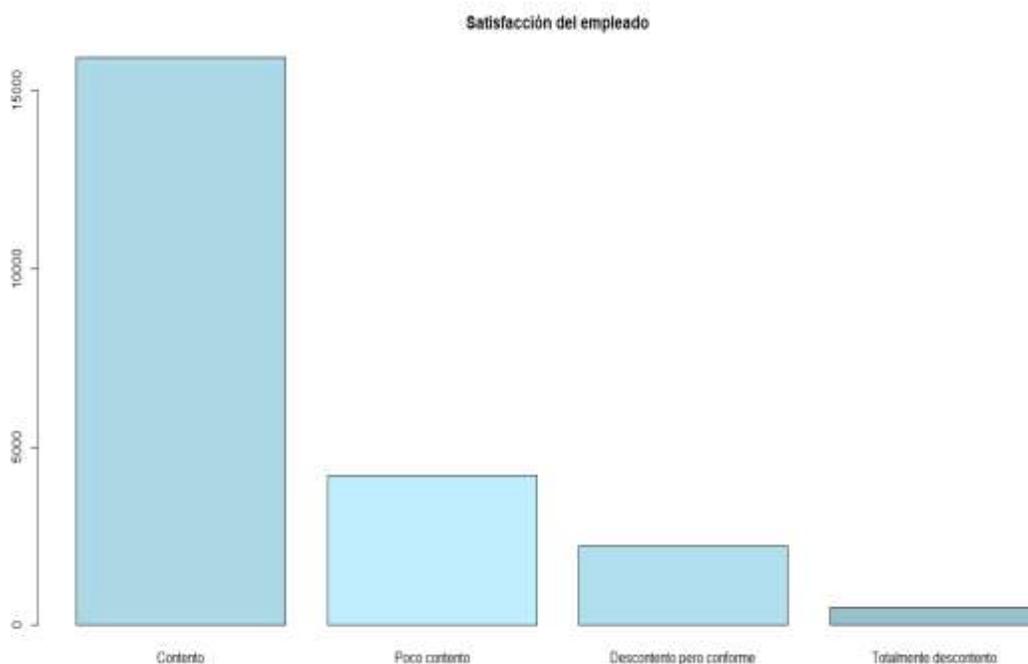


Figura 1. Frecuencia absoluta de la variable respuesta “Nivel de satisfacción laboral”.

En las bases de datos proporcionadas por el INEC, se identifican valores perdidos con diferentes designaciones: 99, 999, 9999, 999999; etiquetados como “No informan” o simplemente se dejan los espacios sin llenar; por ello, en todos estos casos se asignó el valor “NA”.

Los individuos que presentaron NA’s en todas las variables medidas fueron eliminados, mientras que aquellos con una cantidad considerablemente baja de datos perdidos fueron imputados utilizando medidas de tendencia central y un modelo de regresión lineal múltiple. La técnica de tendencia central consistió básicamente en imputar los datos perdidos mediante la moda en el caso de variables cualitativas y mediante la media recortada en el caso de variables cuantitativas. La técnica de regresión lineal múltiple consistió fundamentalmente en encontrar el mejor modelo (basado en buscar las variables explicativas que provoquen el

mayor coeficiente de determinación corregido) que estime la variable cuantitativa a ser imputada. Luego de realizar dicho procedimiento se imputaron 19.30% de datos de la variable p47b, 13.95% de p61a12, 4,05% de ingrl y 0,84% de p27; se eliminaron 17.98% de individuos con NA's totales sobre todas las variables y finalmente se eliminaron 14 individuos que respondieron "No sabe, no responde" en la variable respuesta; dejando una muestra de 22821 observaciones.

Elección de la muestra de entrenamiento y validación de modelo.

Mediante un proceso de muestreo aleatorio simple sin reemplazo, se dividió a la muestra en dos grupos de observaciones. El primer grupo denominado muestra de entrenamiento contiene 20000 individuos (87.64%), sobre los cuales se aplican los tres modelos basados en árboles para obtener una descripción del comportamiento de las variables predictoras; luego, el proceso de predicción se realiza con los 2821 individuos restantes (12.36%), los cuales se denominan muestra de prueba. Esto con el propósito de realizar una comparación de los valores reales y los valores predichos por los modelos y poder obtener medidas sobre la precisión de la predicción.

Dado que el presente estudio tiene como objetivo construir modelos de clasificación; la validación respectiva, en cada caso, se realizó mediante la denominada matriz de confusión. Las columnas de esta matriz cuadrada representan el número de predicciones en cada clase de la variable respuesta, mientras que las filas representan la frecuencia absoluta de las observaciones en cada clase donde realmente se encuentran los individuos de la muestra de prueba. La diagonal principal permitió observar el número de individuos que fueron clasificados correctamente después de la aplicación del modelo. En este sentido, la proporción de aciertos se calculó como el cociente entre la suma de la diagonal principal y la suma total de la matriz; el respectivo complemento puede ser visto como una tasa de error de la predicción.

Además, utilizando la función "peakRAM()" (Quinn, n.d.) se comparó el tiempo en segundos y el uso de la memoria RAM en mebibytes que cada uno de estos modelos ocupa. Si bien es cierto, este no es un índice de validación del modelo pero podría servir para tener una idea general del tiempo de procesamiento de cada modelo que, en la práctica, podría resultar de utilidad para aquellos que vayan a aplicarlo. La Tabla 2 muestra esta información para los tres modelos, donde se observa que la técnica Gradient Boosting, a pesar de ser un modelo más complejo gasta menos memoria RAM y se ejecuta más rápido.

Tabla 2 .Medición del uso de la memoria RAM cuando se aplican los tres modelos.

Técnica	Tiempo (s)	Uso total de RAM (MiB)	Pico de RAM (MiB)
Classification Trees	34,45	0,20	79,80

Random Forest	52,43	17,70	159,90
Gradient Boosting	12,00	0,50	0,90

Aplicación de los modelos.

Para aplicar el algoritmo del modelo basado en árboles, se utilizó la función “rpartXse()” del paquete “DMwR2” (Torgo, 2003) que integra los procesos realizados por las funciones “rpart()” y “prune.rpart()” del paquete “rpart” (Therneau & Beth, 2018), las cuales se encargan respectivamente de extender y podar un árbol tanto como se les indique. En este caso, no se podaron los árboles formados con el fin de obtener la mayor cantidad de variables predictoras en el modelo y poder realizar una exploración del espacio de variables lo más amplia posible, evitando de esta forma, los problemas descritos en la introducción. El árbol que se generó en el proceso se muestra en el siguiente enlace: <https://1drv.ms/u/s!AuxDwRXuZsjEjHHZUeqDRuV6Wriq>

El algoritmo utilizado para implementar el modelo Random Forest se aplicó mediante la función “randomForest()” del paquete que lleva el mismo nombre (Liaw & Wiener, 2002), mientras que la función “xgb.train()” del paquete “xgboost” (Li et al., 2018) se usó para aplicar el algoritmo correspondiente al modelo Gradient Boosting. En este caso, la función requiere de una estructura de datos denominada “sparse matrix”, la cual se consiguió a través de la función “sparse.model.matrix()” del paquete “Matrix” (Bates & Maechler, 2017).

Resultados y discusión.

La Tabla 3 muestra las variables más y menos influyentes sobre la variable objetivo. Se puede observar que la mayoría de estas variables se repiten en los tres modelos, lo cual indica que al parecer las variables más significativas para predecir el Nivel de Satisfacción Laboral están claramente definidas, no hace falta generar demasiados árboles ya que difícilmente se encontrará una variable que quizás no se tomó en cuenta debido a su baja frecuencia. En el análisis mediante “Classification Trees”, las variables que se distinguen como más influyentes (en su orden de aparición con la Tabla 3) tienen que ver con: El tiempo que trabaja el empleado, el ingreso económico que percibe, el sitio donde trabaja, su espacio o tamaño de trabajo, la categoría laboral que tiene, la estabilidad laboral, la rama a la que pertenece, el grupo al cual pertenece (empleado, intelectual, militar, ...), las horas de trabajo y el sector (Formal, Informal, ...) en el cual se desenvuelve.

Tabla 3. Variables más y menos influyentes sobre la variable objetivo “Nivel de Satisfacción Laboral”.

Classification Trees	Random Forest	Gradient Boosting
----------------------	---------------	-------------------

Más influyentes	Menos influyentes	Más influyentes	Menos influyentes	Más influyentes	Menos influyentes
p27	p15	ingrl	p61a8	p27	p61a8
ingrl	p14	p46	p61a5	ingrl	p06
p46	p61a7	p27	p61a7	p51a	p15
p47a	p06	rama1	p06	AR02	p61a7
p42	p61a5	p61a12	p14	p45	p61a5
p61a2	p61a8	p45	p15	p03	p14
rama1	p02	p03	p02	p61a12	p02
grupo1	p61a61	grupo1	p61a61	p61a2	p61a61
p51a	p79	p42	p79	p46	p79
SECEMP	p71a	SECEMP	p71a	p42	p71a

Las matrices de confusión generadas con cada uno de los modelos son resumidas en el cálculo de las tasas de error de clasificación mostradas en la Tabla 4. Como se puede observar estas tasas no son significativamente bajas, lo cual nos indica que la eficiencia de predicción de los tres modelos para clasificar a un individuo no resulta ser totalmente confiable. Es posible que otro(s) modelo(s) podría(n) arrojar mejores resultados. Indagar al respecto resulta una clara propuesta para investigaciones futuras.

Tabla 4. Tasas de error de clasificación en los tres modelos comparados.

Técnica	Classification Trees	Random Forest	Gradient Boosting
Tasas de error de clasificación	30.70%	30.20%	29.95%

Aun cuando, “Random Forest” y “Gradient Boosting” son modelos más complejos que “Classification Trees”, desarrollados con el objetivo de mejorar el nivel de predicción; en el presente análisis se observa que, las tasas de error de clasificación en todos los modelos son muy similares. Al parecer, las variables más influyentes están claramente definidas y sin importar el número o el tipo de árboles que se corran, éstas seguirán siendo las que mejor expliquen el Nivel de Satisfacción Laboral. Este hecho permite concluir que no necesariamente un modelo más complejo obtiene resultados más precisos.

Anexos.

Código en R

```
# Training set and Sample set ####
set.seed(1234)
```

```
sample <- sample(1:nrow(data), 2821)
train <- data[-sample, ]
test <- data[sample, ]

# TREE MODEL #####
library(DMwR2)
set.seed(1234)
model.t <- rpartXse(p59 ~ ., train, se = 0)
summary(model.t)
# Variables importance
vars.imp <- as.data.frame(model.t$variable.importance)
rm(vars.imp)
# Plot
library(rpart.plot)
prp(model.t, type = 0, extra = 104)
# Predicting
set.seed(1234)
pred.t <- predict(model.t, test, type = "class")
# Estimated Error clasification Rate
cm <- table(pred.t, test$p59)
100*(1 - sum(diag(cm)) / sum(cm))

# RANDOM FOREST #####
library(randomForest)
set.seed(1234)
model.rf <- randomForest(p59 ~ ., train, ntree = 69, importance = T)
# Variables importance
model.rf$importance
var.imp.rf <- as.data.frame(model.rf$importance)
var.imp.rf <- var.imp.rf[, ]
# Predicting
set.seed(1234)
pred.rf <- predict(model.rf, test, type = "class")
# Estimated Error clasification Rate
cm <- table(pred.rf, test$p59)
100*(1 - sum(diag(cm)) / sum(cm))

# XGBOOSTING #####
library(Matrix)
library(xgboost)
library(magrittr)
# Sparse matrix (response variable)
p59.xg <- vector()
for (i in 1:nrow(data)) {
  if (data[i, "p59"] == "Contento") {
    p59.xg[i] <- 2
  }
  else {
    if (data[i, "p59"] == "Poco contenido") {
      p59.xg[i] <- 1
    }
  }
}
```

```
}
else {
  if (data[i, "p59"] == "Descontento") {
    p59.xg[i] <- 0
  }
}
}
}
}
# Data with response variable
data.xgb <- cbind(data, p59.xg)
data.xgb <- select(data.xgb, p59.xg, everything())
data.xgb <- data.xgb[, -2]
# Training set and Sample set
set.seed(1234)
sample.xg <- sample(1:nrow(data.xgb), 2821)
train.xg <- data.xgb[-sample.xg, ]
test.xg <- data.xgb[sample.xg, ]
test.xg.1 <- data.xgb[sample.xg, ]
# Training sample
train.p59.xg = train.xg[, "p59.xg"]
train.xg <- sparse.model.matrix(p59.xg ~ .-1, data = train.xg)
train.matrix <- xgb.DMatrix(data = as.matrix(train.xg),
                           label = train.p59.xg)
# Test sample
test.p59.xg = test.xg[, "p59.xg"]
test.xg <- sparse.model.matrix(p59.xg ~ .-1, data = test.xg)
test.matrix <- xgb.DMatrix(data = as.matrix(test.xg),
                          label = test.p59.xg)
# Model parameters
params <- list("objective" = "multi:softmax",
              "eval_metric" = "mlogloss",
              "num_class" = length(unique(train.p59.xg)))
watchlist <- list(train = train.matrix, test = test.matrix)
# Model construction
model.xg <- xgb.train(params = params,
                    data = train.matrix,
                    nrounds = 40,
                    watchlist = watchlist,
                    eta = 0.2,
                    max.depth = 6, # profundidad de Los arboles (podaje
)
                    gamma = 0, # evita el overfitting
                    subsample = 1, # prevent overfitting [0, 1]
                    colsample_bytree = 0.3, # [0, 1]
                    seed = 1234)
# Plots
e <- data.frame(model.xg$evaluation_log)
min(e$test_mlogloss)
e[e$test_mlogloss == 0.798937, ]
plot(e$iter, e$train_mlogloss, col = 'blue')
```

```
lines(e$iter, e$test_mlogloss, col = 'red')
# Variables importance
imp <- as.data.frame(xgb.importance(model = model.xg))
xgb.plot.importance(imp)
# Predicting
set.seed(1234)
pred.xg <- predict(model.xg, test.matrix, type = "class")
# Estimated Error clasification Rate
cm <- table(pred.xg, test.xg.1$p59.xg)
100*(1 - sum(diag(cm)) / sum(cm))

# RAM used ####
library(peakRAM)
set.seed(1234)
peakRAM(rpartXse(p59 ~ ., train, se = 1))
set.seed(1234)
peakRAM(randomForest(p59 ~ ., train, ntree = 69))
set.seed(1234)
peakRAM(xgb.train(params = params,
                  data = train.matrix,
                  nrounds = 40,
                  watchlist = watchlist,
                  eta = 0.2,
                  max.depth = 6, # profundidad de Los arboles (podaje)
                  gamma = 0, # evita el overfitting
                  subsample = 1, # prevent overfitting [0, 1]
                  colsample_bytree = 0.3, # [0, 1]
                  seed = 1234)
)
```

Referencias bibliográficas.

- Bates, D., & Maechler, M. (2017). Matrix: Sparse and Dense Matrix Classes and Methods.
- Breiman, L. (1996). Bagging predictors. *Machine Learning*, 24(2), 123-140.
- Breiman, L. (1997). *Arcing the edge*. California.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5-32.

- Friday, S. S., & Friday, E. (2003). Racioethnic perceptions of job characteristics and job satisfaction. *Journal of Management Development*, 22(5–6), 426–442. <https://doi.org/10.1108/02621710310474778>
- Kam, H. T. (1995). Random decision forest. In *Proc. of the 3rd Int'l Conf. on Document Analysis and Recognition* (pp. 14–18). Montreal, Canada.
- Leo, B., Friedman, J. H., Olshen, R. A., & Stone, C. J. (1984). Classification and regression trees. *Wadsworth International Group*.
- Li, T. C., He, T., Benesty, M., Yutian, V. K. and Y. T., Cho, H., Chen, K., ... Geng, Y. (2018). xgboost: Extreme Gradient Boosting.
- Liaw, A., & Wiener, M. (2002). Classification and Regression by randomForest. *R News*, 2(3), 18–22.
- Quinlan, J. R. (2014). *C4. 5: programs for machine learning*. Elsevier B.V.
- Quinn, T. (n.d.). Monitor the Total and Peak RAM Used by an Expression or Function [R package peakRAM version 1.0.2]. Retrieved from <https://cran.r-project.org/web/packages/peakRAM/index.html>
- Rokach, L., & Maimon, O. Z. (2008). *Data mining with decision trees: theory and applications*. World scientific.
- Rowden, R. W. (2002). The relationship between workplace learning and job satisfaction in U.S. small to midsize businesses. *Human Resource Development Quarterly*, 13(4), 407–425. <https://doi.org/10.1002/hrdq.1041>
- Team, R. C. (2016). R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- Therneau, T., & Beth, A. (2018). rpart: Recursive Partitioning and Regression Trees. R package.
- Torgo, L. (1999). *Inductive learning of tree-based regression models*. Universidade do Porto. Reitoria.
- Torgo, L. (2003). *Data mining with R*. University of Porto: LIACC-FEP.

Para citar el artículo indexado.

Cumbicos J., Jiménez L., Luna M., Valdivieso Á. & Barona L. . (2018). Comparativa del avance en desarrollo en las telecomunicaciones entre Ecuador y Bolivia. *Revista electrónica Ciencia*

Digital 2(4.1.), 42-54. Recuperado desde:
<http://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/view/189/16>
[7](#)



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Ciencia Digital**.

El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Ciencia Digital**.



Literatura científica sobre análisis estadístico implicativo: un mapeo sistemático de la década que transcurre.



Scientific literature on Implicative Statistical analysis: a systematic mapping of the decade that passes.

Bryan Marcelo Barragán Pazmiño.¹⁰ & Rubén Antonio Pazmiño Maji.¹¹

Recibido: 08-07-2017 / Revisado:17-7-09-2018 Aceptado: 05-10-2018/ Publicado: 01-11-2018

Abstract.

DOI: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v2i4.1..190>

Statistical Implicative Analysis every day makes its way as one of the most important analyzes when it comes to finding statistical implications or quasi-implications. Although it is not a new technique, it has recently become relevant, since it is an adequate methodology to work in big data. The present study was carried out in order to know the situation of Statistical Implicative Analysis according to the amount of scientific production produced so far this decade, through the analysis of 121 documents obtained through a systematic procedure of inclusion and exclusion criteria of documents. It was concluded that Statistical Implicative Analysis is mostly applied in Education's field, with higher production by researchers from France, and with more than half of publications in French, however, it was observed that documents in other languages than French are growing in number, as in other fields of application apart from education and with a greater number of countries in which new scientific production is being produced using Implicative Statistics.

Keywords: Systematic Mapping Review, Scientific Literature, Statistical Implicative Analysis.

Resumen.

El Análisis Estadístico Implicativo cada día se abre camino como uno de los análisis más importantes cuando se trata de hallar implicaciones estadísticas o cuasi-implicaciones. Si bien no es una técnica nueva, esta ha cobrado relevancia recientemente, pues es una metodología adecuada para trabajar en grandes cantidades de datos. El presente estudio se realizó con el fin de conocer la situación del Análisis Estadístico Implicativo según la cantidad de producción científica producida en lo que va de la década, mediante el análisis de 121 documentos obtenidos mediante un

¹⁰ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Grupo de Investigación en Ciencia de Datos, Riobamba, Ecuador, bryan.barragan@epoch.edu.ec

¹¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Grupo de Investigación en Ciencia de Datos, Riobamba, Ecuador, rpazmino@epoch.edu.ec

procedimiento sistemático de criterios de inclusión y exclusión de documentos. Se concluyó que el Análisis Estadístico Implicativo es mayormente aplicado en el campo de la educación, con mayor producción realizada por investigadores de Francia, y con más de la mitad de publicaciones en francés, sin embargo, se observó que los documentos en idiomas distintos al francés van creciendo en número, al igual que documentos en otros campos de aplicación a parte de la educación y con un mayor número de países en los que se está realizando nueva producción científica usando la Estadística Implicativa.

Palabras Claves: Revisión De Mapeo Sistemático, Literatura Científica, Análisis Estadístico Implicativo

Introducción .

El Análisis Estadístico Implicativo (ASI, por sus siglas en francés) ha venido siendo desarrollado principalmente por Regis Gras, Jean-Claude Régnier y colaboradores desde finales de los 70, con el objetivo de definir un campo teórico que se encuentre enfocado en el concepto de la cuasi-implicación o implicación estadística, para así diferenciarlo de conceptos como las implicaciones lógicas y matemáticas (Gras, Regnier & Guillet, 2009a; Ferreira, 2015).

El ASI surge a partir de situaciones referentes a la enseñanza de matemáticas, estructurando información, interrelacionando individuos y variables en estudio, generando reglas de asociación entre las variables y en base a estas, la explicación según una determinada situación (Gras, 1979; Gras & Kuntz, 2009). Los cocientes estadísticos que entran en juego al usar ASI pueden ser: intensidades de implicación, cohesión de clases, implicación-inclusión, significación de niveles jerárquicos, contribución de variables suplementarias, uso de variables modales, binarias, de intervalo y difusas, etc (Gras, Regnier, Lahanier, et al, 2017). En general, una pregunta para ser resuelta por el ASI se puede indicar como: "¿en qué medida se puede considerar que de cumplirse la variable a implica que se cumpla la variable b, sin que se deba al azar?" (Gras & Regnier, 2009).

El procedimiento propuesto por Gras en 1992 es resumido por Lacasta en las actas del I Simposio de la Sociedad Española de Investigación en Educación Matemática de la siguiente manera (Rico & Sierra, 1998):

- Elección del método de análisis
- Elaboración de una tabla de datos adecuada para la aplicación del método elegido
- Definición del conocimiento matemático adecuado para la realización del análisis e interpretación de los resultados
- Interpretación de resultados numéricos y gráficos, a manera de resumen.

- Confirmación o validación mediante un análisis confirmatorio
- Aplicación de un método inferencial

Durante los últimos 30 años se ha venido desarrollando la teoría del ASI estimulada por la interacción entre esta y las aplicaciones que se le ha dado, presentando todavía su mayor campo de acción en la educación, pero evolucionando a otros campos como la psicología, sociología, informática, medicina, etc., demostrando así la capacidad y el potencial del ASI en comparación con otros métodos usados con el mismo objetivo, pero también estableciendo límites en su aplicabilidad debido al concepto de cuasi-implicación (Gras, Regnier & Guillet, 2009b; De Andrade, Regnier & Andrade, 2017).

La revisión sistemática es una metodología que tiene como objetivo principal dar un perfil de lo que sucede con cierta área de investigación, mediante el análisis de la producción científica en la misma, pero con el plus de utilizar la información adecuada para dicho análisis (criterios de calidad, inclusión y exclusión de archivos). Esta forja sus cimientos en estudios sobre medicina, pero con una actual ampliación en sus campos de aplicación, siendo uno de ellos el de la Estadística (González, Urrútia & Alonso, 2011; Liberati, Altman, Tetzlaff, et al, 2009).

Las características que toda revisión sistemática debe poseer son (Vidal, Oramas & Borroto, 2015):

- Rigurosas: en cuanto a criterios usados para definir la inclusión, exclusión y/o calidad del documento.
- Informativas: deben tratar un problema claramente definido en tiempo y espacio, con el fin de que los resultados permitan una toma de decisiones adecuada.
- Exhaustivas: deben usar la mayor cantidad de información pertinente al tema de análisis.
- Explícitas: deben explicitarse teórica y prácticamente los métodos usados en la revisión.

Las revisiones sistemáticas se pueden clasificar, según la profundidad del estudio, en dos: las revisiones sistemáticas de literatura, que son estudios más estructurados con relación a los criterios de selección y evaluación de los documentos analizándolos más a fondo; y los mapeos sistemáticos de literatura, los cuales dan una visión general del panorama actual del tema en análisis (Marques, 2017). La metodología para realizar una revisión sistemática se define de manera sintética en la Figura 1., y está basada en Manual de Revisores del Centro Cochrane Iberoamericano (2001).

La revisión narrativa en general, es un proceso de observación, selección y ejecución de un análisis para resumir características de interés en un gran conjunto de documentos, mientras que la revisión sistemática, y en este caso en particular el mapeo de literatura científica, tienen el mismo objetivo, con una diferencia aparentemente simple, pero muy significativa; la

sistematización de criterios de selección, inclusión y exclusión de documentos, con el fin de trabajar con información de un área específica, que debe llevarse a cabo bajo un control riguroso y así evitar sesgos de información (Pazmiño, García & Conde, 2016; García, 2017). Esta diferencia se vuelve clave en la realización del estudio, ya que estos filtros dan mayor peso a los resultados descriptivos de la investigación, sin embargo, en ningún caso se puede generalizar esta clase de resultados sin análisis confirmatorios de posteriores estudios que lo repliquen. Entonces, el presente estudio pretende esclarecer el panorama que ha atravesado el ASI en los últimos siete años (2011 – 2017), según el número de artículos científicos, actas y ponencias de conferencias, capítulos de libros, presentaciones en congresos o coloquios y demás documentos que consideran métodos de implicación estadística según su campo de aplicación, idioma y lugar de elaboración.

1. Materiales y Métodos.

Con el fin de determinar la situación de los estudios que tienen al menos una aplicación de ASI dentro de su contenido, desde el año 2011 a 2017, se realiza el mapeo de dicha literatura con la metodología de las revisiones sistemáticas en general, cuyos pasos se detallan en la Figura 1., y que se describen a continuación con su respectiva aplicación a la presente investigación hasta el paso 4, que corresponde a la parte metodológica del mapeo sistemático. Los pasos 5 y 6 de esta metodología referentes al análisis y presentación e interpretación de resultados respectivamente, se discutirán en las secciones de Resultados y Discusión del presente escrito.

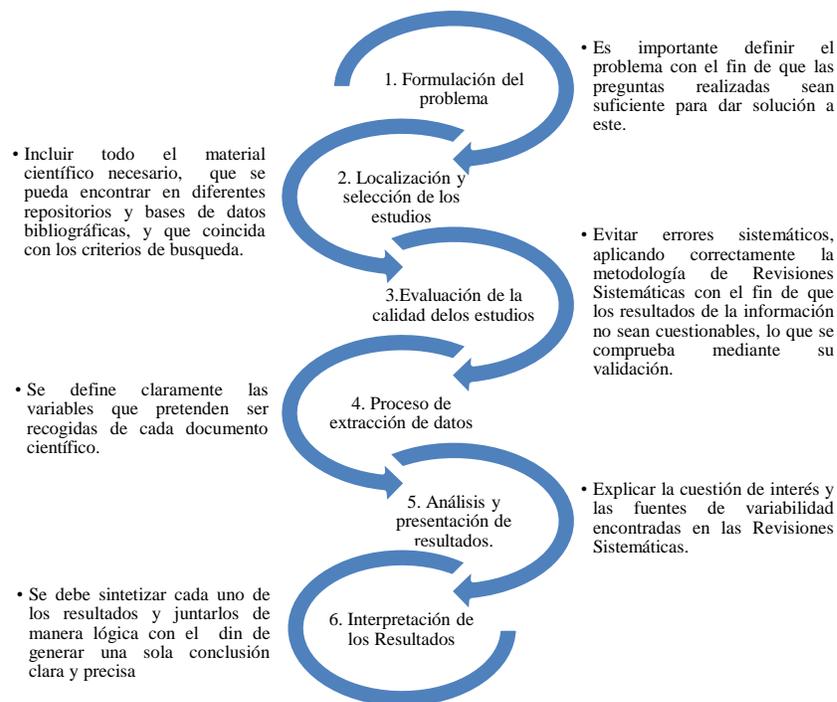


Figura 1. Metodología de las Revisiones Sistemáticas. Fuente: (De Dios & Santamaría, 2007).

1. Formulación del problema. El estudio tiene por meta conocer el estado actual de las publicaciones científicas de ASI, con información de la década en curso.
2. Localización y selección de los estudios. Se definieron varias bases de datos bibliográficas como fuente para encontrar la información referente a ASI desde el año 2011: IEEE Explorer, Web of Science, Science Direct, Springer, SciELO, La Referencia, Dialnet, EBSCO, ACM, LatIndex, DartEurope, CSIC, PDQT, TDR, DOAJ y ACM; además se toma en cuenta los Coloquios Internacionales de ASI 6, 7, 8 y 9 realizados en los años 2012, 2013, 2015 y 2017 respectivamente. Además, como criterio adicional se consideró solamente a los documentos de libre acceso en la web. Se encontraron 121 documentos con los criterios antes mencionados, los cuales se detallan en la Tabla 1, listando los artículos encontrados en cada repositorio de documentos (los repositorios que no se encuentran listados no tenían documentos sobre ASI).

Tabla 1. Artículos de ASI publicados desde el año 2011 hasta 2017

Fuentes	N° de artículos
Web of Science	6
Science Direct	4
DOAJ	2
Dart Europe	3
SciELO	2
La Referencia	2
ACM	2
A.S.I. 6	14
A.S.I. 7	18
A.S.I. 8	33
A.S.I. 9	35

3. Evaluación de la calidad de los estudios. La metodología de la revisión sistemática y de mapeo de literatura es adecuada, excepto en la elección de documentos de libre difusión en la red solamente.
4. Proceso de Extracción de Datos. Para el registro de información en los documentos seleccionados se registró la información de las siguientes preguntas.
 - a) ¿En qué año fue publicado el documento?
 - b) ¿El documento se aplica en el ámbito de la educación?
 - c) ¿El documento se aplica en el ámbito de la psicología?
 - d) ¿El documento se aplica en el campo de la medicina?

- e) ¿El documento se aplica en otro campo?
- f) ¿El documento tiene algún aporte teórico?
- g) ¿El documento fue redactado en español?
- h) ¿El documento fue redactado en inglés?
- i) ¿El documento fue redactado en portugués?
- j) ¿El documento fue redactado en francés?
- k) ¿El documento fue redactado en otro idioma?
- l) ¿En qué país se encuentra la institución de afiliación del investigador principal del estudio?

Solamente en la pregunta *l*) se observa una variable modal en los datos, mientras que el resto de las variables que se analizan son de carácter binario.

Definidas las preguntas de investigación, resta la recopilación de la información, mediante el análisis de cada uno de los documentos seleccionados según los criterios antes mencionados.

2. Resultados.

Como se observa en la Tabla 1., la mayor parte de los artículos referentes a ASI, es presentada en los Coloquios organizados para este tema en específico. Mientras que la información obtenida de repositorios de bases de datos bibliográficas analizados, aún no contienen una cantidad importante de documentos de ASI entre su repertorio de documentos científicos.

En cuanto a los resultados de las preguntas relacionadas con el campo de aplicación del ASI, se resumen gráficamente en la Figura 2., indicando que el campo de acción preponderante en el uso de este método sigue siendo la educación con 63 del total de documentos analizados, seguido de los que aportan al desarrollo de la teoría del ASI con 29 documentos, y este seguido por otros campos de aplicación con 15 documentos, mientras que los estudios relacionados con la salud física y mental se ubican al final de esta lista con siete documentos cada uno.

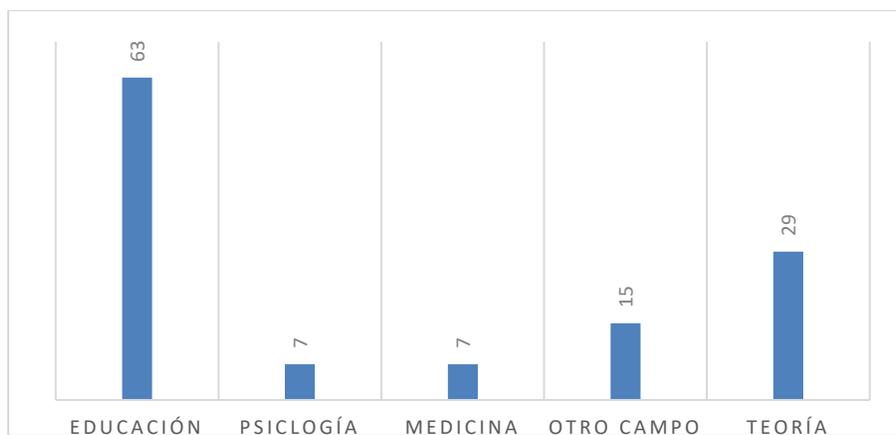


Figura 2. Artículos de ASI según su campo de Aplicación.

Acerca del idioma principal en el que se redactaron los documentos que ocupan ASI (Figura 3.), el francés es en el que se realiza la mayor parte de los documentos de ASI con 66 documentos, seguidos por los documentos en el idioma portugués con 26 y ya algo lejos la producción de ASI en inglés y español con 17 y 12 documentos respectivamente. Es relevante mencionar que no existe producción científica en otros idiomas a los antes mencionados.

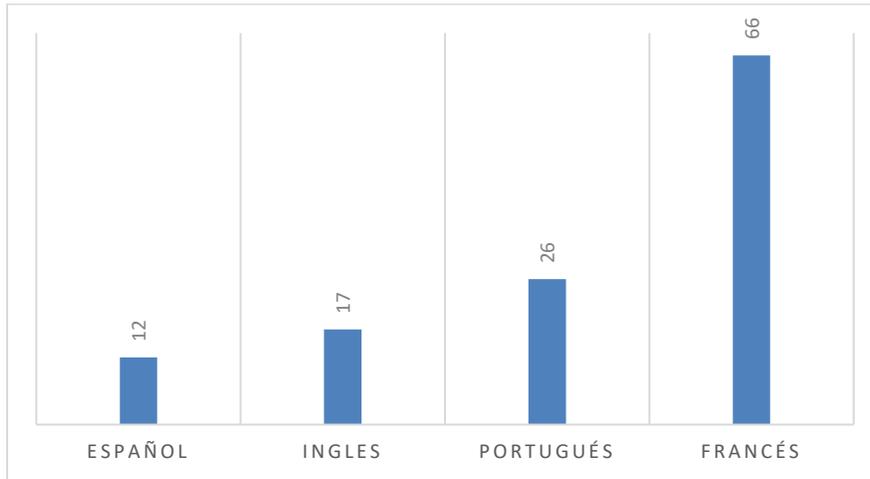


Figura 3. Artículos de ASI según el idioma del documento

Como se observa en la Figura 4., la producción de ASI en su mayoría es desarrollada o aplicada por investigadores afiliados a instituciones en Francia con 62 documentos, seguido de los documentos producidos en Brasil con 22 documentos y después España con nueve documentos. Argelia, Chipre y Ecuador les siguen a estos con cuatro documentos cada uno, luego se observan a los países de Cuba, Italia, México, Nueva Zelanda y Vietnam con dos documentos cada uno y finalmente los países que han producido un artículo ASI durante el periodo 2011 – 2017, Argentina, Colombia, Gabón, Grecia, Madagascar y Túnez.

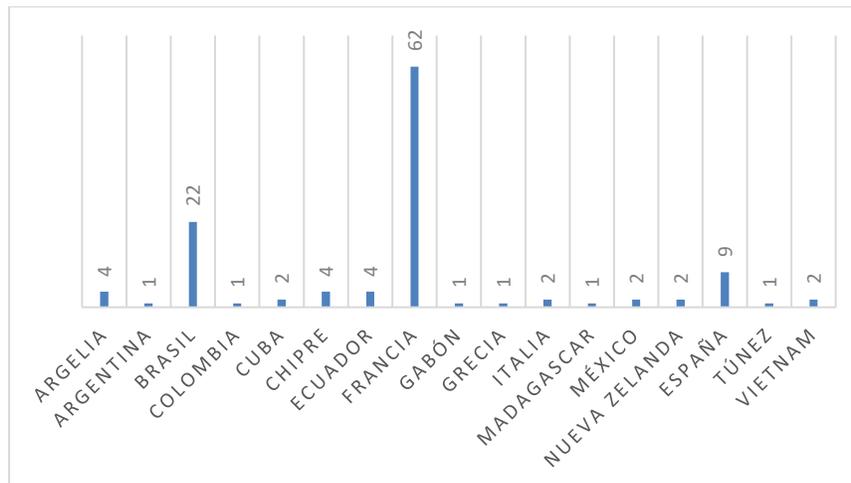


Figura 4. Artículos de ASI según el país de afiliación del autor.

En la Figura 5., se observa la evolución de los documentos del ASI a en lo que va de la

década, siendo la del año 2011 muy baja con tres documentos, mientras que en el año 2012 y 2013 aumentó significativamente con 22 y 21 documentos respectivamente, para el año 2014 nuevamente se redujo la producción a un solo artículo, mientras que en el 2015 presentó un aumento notable con 35 documentos, en 2016 disminuyó a cuatro documentos y en 2017 nuevamente se incrementó a 35.

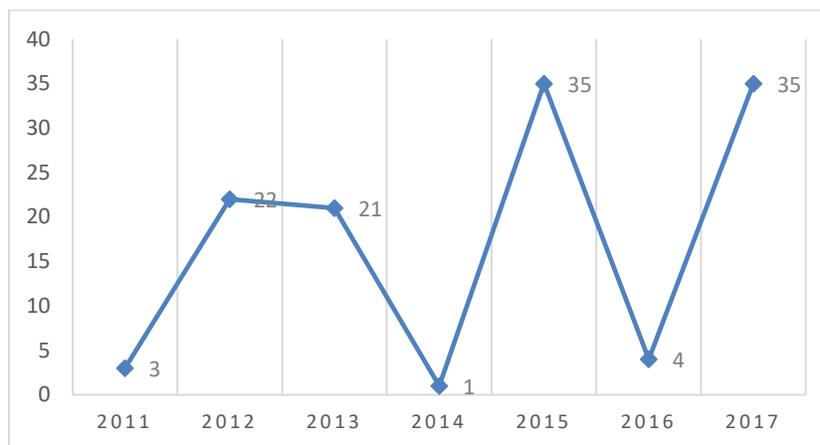


Figura 5. Artículos de ASI durante los últimos 7 años.

En cuanto a los documentos que presentan un mayor aporte, después de realizada esta revisión de literatura, están: “Genesis and development of statistical implicative analysis: historical retrospective” de Regis Gras (2013), documento redactado en francés, con contenido explicativo de gran aporte teórico para el desarrollo del ASI, sustentado con ejemplos prácticos en los que se muestra explícitamente gráficas e índices usados en esta metodología. Otro documento teórico de gran valía para el ASI es “Dualité Entre Espace Des Variables Et Espace Des Sujets En Analyse Statistique Implicative” de Regis Gras, con colaboración de Dominique Lahanier (2012), escrito en francés, cuyo contenido se asemeja al documento antes mencionado, pero haciendo mayor énfasis en el tratamiento de variables binarias. “A Paradigmatic Survey Of The Implicative Statistical Analysis” de Regis Gras nuevamente (2015), quien esta vez hace énfasis en la aplicación del ASI en el campo educativo con técnicas y gráficas detalladas de una manera clara y concisa, documento escrito en francés. Por último, otros dos documentos que explican de manera adecuada la aplicación de índices, técnicas y gráficas del ASI son “Professional master's degree in teaching of mathematics: articulation of competences” de Isaisa de Aguiar y colaboradores (2015), y “Pesquisas Sobre Professores Que Ensinam Matemática Nos Anos Iniciais Do Ensino Fundamental No Brasil Estudos Das Tendências De Pesquisa No Brasil (2006 – 2014)1 À Luz Da Análise Estatística Implicativa” de Luciana Amaral y colaboradores (2015), son documentos escritos en portugués, los cuales presentan un enfoque del ASI netamente en el plano educativo con el análisis de variables binarias y aplicación de diferentes procedimientos del ASI para encontrar índices y reglas de implicación y

asociación.

3. **Discusión.**

El ASI mantiene su fuerte en los estudios y países que le dieron origen, pues la mayoría de los documentos que aplican este método son documentos enfocados en el campo del desarrollo del aprendizaje, en sujetos de estudio que cursan la educación básica y, particularmente, entre la relación de las técnicas de enseñanza implementadas con el éxito o fracaso en cuanto al aprendizaje de dichos sujetos (Lacasta, Lasa & Wilhelmi, 2012; Almouloud, Coutinho & Da Silva, 2015; De Menezes & Dos Santos, 2015); sin embargo, se observa también una ampliación en los campos de acción del ASI, pues se definen otros campos como el de la psicología y medicina en los que se ha venido aplicando últimamente, para encontrar relaciones entre que tan adecuado resultan ciertos tratamientos de diferentes trastornos físicos y psíquicos que poseen los pacientes estudiados (Pasquier & Gras, 2012; Ndong, 2012).

De igual manera sucede con el idioma de escritura original de los documentos, pues la mayoría se encuentran redactados en el idioma francés, no obstante, se cuenta con una cantidad considerable de documentos en portugués, y se observa un valor ciertamente notable en los documentos en español e inglés, lo que en cierto modo indica la diseminación que está teniendo el ASI en varias partes del mundo (Pellois, 2017; Da Costa A., Da Costa C., Vieira, et al, 2017; Huerta, Couturier & Pazmiño, 2013; Pérez, Pazmiño & Andaluz, 2014). Esta proposición se corrobora observando los países de las instituciones de afiliación de los investigadores que se están introduciendo en la aplicación de técnicas de ASI, observando seis países con un documento y cinco países con dos documentos cada uno, mientras que este parámetro es liderado por Francia, Brasil y algo lejos por España (Nguyen, Huynh H., Huynh X, et al, 2017; Lurato, 2012; Carranza, 2013; Totohasina, 2014).

La evolución de la cantidad de documentos de ASI en el tiempo es algo curiosa de observar, pues se definen crecimientos y decrementos muy abruptos de esta característica dependiendo del año, comportamiento que se debe a que la mayoría de estos documentos son presentados en los Coloquios de ASI, los cuales en esta década se han realizado en los años 2012, 2013, 2015 y 2017, que coinciden con los años de mayor cantidad de documentos de ASI encontrados. En dichos coloquios se observa que el desarrollo teórico de esta rama se sigue realizando, aunque cada vez con menor énfasis en esta y más en su aplicabilidad, como lo muestran las actas de dichos coloquios, que en el 6to Coloquio basa su temática mayormente en el desarrollo teórico-práctico del ASI, mientras que en el 7mo ya se enfatiza en la confirmación de la teoría desarrollada, luego en el 8vo y 9no se observa que el tópico principal es la ampliación aplicativa del ASI, ya no solamente en ciencias básicas, sino también en las sociales. Además, se observa la expansión del ASI puesto que las convenciones han tenido su lugar de realización ya no solamente en Europa, como se venía acostumbrando en los coloquios realizados el decenio anterior, sino que se trasladaron hacia

Sudamérica (Brasil) y África (Túnez) donde se desarrollaron el 6to y 8vo Coloquio respectivamente (Regnier, Gras & Bailleul, 2012; Regnier, Almouloud & Gras, 2013; Regnier, Slimani & Gras, 2015; Regnier, Gras, Couturier, et al, 2017).

Conclusiones.

El esparcimiento de las técnicas y métodos que ofrece el ASI para determinar implicaciones estadísticas o cuasi-implicaciones se ve segregado de los estudios que ocasionaron su surgimiento, pues si bien se observa que la mayor cantidad de documentos de ASI se encuentran elaborados en Francia y en idioma francés, la cantidad de investigadores de diferentes países que han aplicado esta técnica es considerable para un método que está cobrando una importancia desde hace muy poco tiempo relativamente. Este comportamiento resulta excelente para la dispersión del conocimiento del ASI, pues diferentes organizaciones a nivel mundial están familiarizándose con los beneficios que las técnicas que esta metodología ofrece en comparación con otras que están enfocadas en la misma dirección, pero que no tienen la misma eficiencia (Orús, Zamora & Huerta, 2009). Se espera que en lo que resta de década las publicaciones de ASI sigan presentando el mismo comportamiento de incremento cuando se realizan Coloquios y decremento cuando no, pero para un futuro algo más lejano, que se comience a producir un crecimiento en la utilización de las técnicas de ASI. Se determinó que, en su mayoría, los documentos que aplican ASI están escritos en francés, por investigadores afiliados a instituciones francesas y que aún encuentra en la educación su mayor campo de aplicación, pero con número considerable en otros campos de aplicación, en otros idiomas y en instituciones de otros países.

Agradecimiento.

Nos gustaría brindar un elocuente agradecimiento al Grupo de Investigación en Ciencia de Datos – CITED, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, el cual nos ha permitido aprender e implementar nuevas técnicas y métodos para la búsqueda, el preprocesamiento y el análisis de información, además de la confianza y el ambiente cordial brindado en su seno, por parte de todos los investigadores y directivos que lo integran.

Referencias bibliográficas.

Almouloud, S., Coutinho, C. & Da Silva, M. (2015). Mapeamento de conhecimentos de professores sobre tecnologias de informação e comunicação e seus usos didático-pedagógicos. Ou leur parrainage scientifique, 560.

Amaral, L., Câmara Dos Santos, M., Acioly, N. & Edênia M. (2015). Pesquisas Sobre Professores Que Ensinam Matemática Nos Anos Iniciais Do Ensino Fundamental No Brasil Estudos Das Tendências De Pesquisa No Brasil (2006 – 2014)1 À Luz Da Análise Estatística Implicativa.

- Carranza, P. (2013). Presencia de interpretaciones bayesiana y frecuentista de la probabilidad en libros de estudio en Francia.
- Centro Cochrane Iberoamericano. (2001). Manual de revisores (versión española de "Cochrane Reviewers Handbook"). Barcelona.
- Da Costa, A., Da Costa, C., Vieira, M., Eloi, Q., de Andrade, V. & Regnier, J. C. (2017). Estudo exploratório do pensamento geométrico de professores de matemática: caso de um grupo na PARAÍBA (BRASIL) a luz da ASI.
- De Aguiar, S., Bisognin, E., Bisognin, V., Régnier, J. C., Acioly, N. & Cardoso, A. (2015). Professional master's degree in teaching of mathematics: articulation of competences.
- De Andrade, V., Regnier, J. C. & Andrade, P. (2017). As produções na área de Ensino de ciências e matemática nas comunicações nos colóquios internacionais sobre Análise Estatística Implicativa.
- De Dios, J., Santamaría, A. (2007). Revisión sistemática y metanálisis (I): Conceptos básicos. Evidencias en pediatría; 3(4); 21.
- De Menezes, M. & Dos Santos, M. (2015). O saber escolar na perspectiva da Teoria Antropológica do Didático.
- Ferreira, L. (2015). A formação humana dos educadores através das comunicações nos colóquios internacionais sobre análise estatística implicativa (ASI): casos dos colóquios ASI 5, ASI 6 e ASI 7. Ou leur parrainage scientifique, 602.
- García, F. (2017). Mapeos sistemáticos de literatura, revisiones sistemáticas de literatura y benchmarking de programas formativos.
- González, I., Urrútia, G. & Alonso-Coello, P. (2011). Revisiones sistemáticas y metaanálisis: bases conceptuales e interpretación. Revista española de cardiología; 64(8); 688-696.
- Gras, R. (1979) Contribution à l'étude expérimentale et à l'analyse de certaines acquisitions cognitives et de certains objectifs didactiques en mathématiques [tesis doctoral]. Université de Rennes.
- Gras, R., Régnier, J. C. & Guillet, F. (2009). Analyse Statistique Implicative. Une méthode d'analyse de données pour la recherche de causalités.
- Gras, R. & Regnier, J. C. (2009). Fondements théoriques de l'analyse statistique implicative.
- Gras, R. & Kuntz, P. (2009). El Análisis Estadístico Implicativo (ASI) en respuesta a

problemas que le dieron origen. Teoría y aplicaciones del Análisis Estadístico Implicativo: primera aproximación en lengua hispana. Castellón: Departamento de Matemática de la Universitat Jaume I: 3-51.

Gras, R. & Lahanier, D. (2012). Dualité Entre Espace Des Variables Et Espace Des Sujets En Analyse Statistique Implicative.

Gras, R. (2013). Genesis and development of statistical implicative analysis: historical retrospective.

Gras, R. (2015). A Paradigmatic Survey Of The Implicative Statistical Analysis.

Gras, R., Regnier, J. C., Lahanier-Reuter, D., Marinica, C. & Guillet, F. (2017). L'analyse statistique implicative. Des Sciences dures aux Sciences Humaines et Sociales. Cépaduès Editions: 462.

Huerta, P., Couturier, R. & Maji, R. (2013). On the probability distribution of the classical gras implication index between two binary random variables. In VII International Conference on Statistical Implicative Analysis, Brazil.

Lacasta, E., Lasa, A. & Wilhelmi, M. R. (2012). Actividad lógica y relacional en Educación Infantil.

Liberati, A., Altman, D., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P., Ioannidis, J., et al. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. PLoS medicine; 6(7).

Lurato, G. (2012). The implicative statistical analysis: an interdisciplinary paradigm.

Marques, M. (2017). Systematic Review. Investigación en Ciencia de la Computación.

Ndong, L. (2012). Malnutrition protéino-énergétique et enseignement de la nutrition et de l'alimentation au Gabon. L'Analyse Statistique Implicative: de l'exploratoire au confirmatoire, 263-289.

Nguyen, H., Huynh, H. H., Huynh, H. X. & Couturier, R. (2017). Recommended based on asymmetric user relations using timp (temporal implicative) measure.

Orús, P., Zamora, L. y Huerta, P. (2009). Teoría y aplicaciones del Análisis Estadístico Implicativo: primera aproximación en lengua hispana.

Pasquier, D. & Gras, R. (2012). De l'intérêt de l'analyse statistique implicative (ASI) pour la recherche exploratoire en psychologie. Psychologie française, 57(3), 161-173.

- Pazmiño, R., García, F. & Conde-González, M. (2016). Approximation of statistical implicative analysis to learning analytics: a systematic review. In Proceedings of the Fourth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality - ACM; 355-376.
- Pellois, C. (2017). Traitement Par L'asi De Modèles En Sciences Humaines : Entre Simples Fluctuations, Artefacts, Et Sens Possibles.
- Pérez, M., Pazmiño, R. & Andaluz, V. (2014). Cuasi-implicación estadística y determinación automática de clases de equivalencia en imágenes de resonancia magnética de cerebro. *Revista Politécnica*, 34(1), 123.
- Regnier, J. C., Gras, R. & Bailleul, M. (2012). De l'exploratoire au confirmatoire. 6ème Colloque d'Analyse Statistique Implicative: 7, 8, 9 y 10 novembre 2012, Sao Paulo, Brasil.
- Regnier, J. C., Almouloud, S. & Gras, R. (2013). Cadre théorique et applicatif pour l'exploration sématique et non symétrique des donn'ees. 7ème Colloque d'Analyse Statistique Implicative: 27, 28, 29 y 30 novembre 2013, Tunisia.
- Regnier, J. C., Slimani, Y. & Gras, R. (2015). Des sciences dures aux sciences humaines et sociales. 8ème Colloque d'Analyse Statistique Implicative: 11, 12, 13 y 14 novembre 2015.
- Regnier, J. C., Gras, R., Coururier, R. & Bodin, A. (2017). Points de vue conceptuels, applicatifs et métaphoriques. En: 9ème colloque d'Analyse Statistique Implicative: 4, 5, 6 y 7 octobre 2017, Belfort, France.
- Rico, L. & Sierra, M. (1998). Primer simposio de la Sociedad Española de Investigación en Educación Matemática; 1997 Sep 12, 13; Salamanca; Universidad de Salamanca.
- Totohasina, A. (2014). Towards a theory unifying implicative interestingness measures and critical values consideration in MGK. *Educação Matemática Pesquisa: Revista do Programa de Estudos Pós-Graduados em Educação Matemática*, 16(3), 881-900.
- Vidal, M., Oramas, J. & Borroto, R. (2015). Revisiónes sistemáticas. *Educación Médica Superior*; 29(1); 198-207.



Para citar el artículo indexado.

Barragán, B. & Pazmiño, R. (2018). Literatura Científica sobre Análisis Estadístico Implicativo: Un mapeo sistemático de la década que transcurre. *Revista electrónica Ciencia Digital* 2(4.1), 55-69. Recuperado desde: <http://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/view/190/168>



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Ciencia Digital**.

El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Ciencia Digital**.



Medición estadística de la calidad del servicio institucional en instituciones de educación superior, a través de la percepción de la satisfacción estudiantil.



The statistical measurement of the quality of the institutional service in institutions of higher education, through the perception of student satisfaction.

Rolando Chacha¹², Milton López.¹³ & Alexandra Viñan¹⁴.

Recibido: 18-07-2017 / Revisado: 15-09-2018 Aceptado: 12-10-2018/ Publicado: 01-11-2018

Abstract.

DOI: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v2i4.1..191>

Higher education institutions public or private offer different types of services, being those related to the academic aspect the most relevant. The objective of this research is statistically measure quality institutional service, through the perception of student

¹² Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, rolando_chacha@hotmail.com

¹³ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Grupo de Investigación CIED, Riobamba, Ecuador, mlopez_r@esPOCH.edu.ec

¹⁴ Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, alexandra.vinan@unach.edu.ec

satisfaction. This study was developed at the Chimborazo Polytechnic University (Espoch), with students enrolled between October 2017 and March 2018 period. The primary information was collected with structured questionnaires composed by 7 blocks, which include the variables object of the study. In total 33 questions were consulted, each of which represents a measurement variable, the number of students consulted comes from a sample of 1000 students. The data were analyzed using the statistical technique, Structural Equation Model (SEM), a technique that can represent unobservable concepts, for the research were used the latent variables of the European Customer Satisfaction Index (ECSI): Image, Expectation, Hardware, Software, Perceived Value, Satisfaction and Loyalty. The proposed SEM was adjusted with the technique of partial least squares, using the plspm package of the statistical software R. As a result, the INSPOCH indicator (student perception of the quality of the services offered by the Espoch) was calculated, with a value of 69.02% In addition, the research identified the strengths and weaknesses of the institution. With these results the institution authorities can make decisions with a vision of continuous improvement for the benefit of the polytechnic community, considering the criteria of the students very important actor of the process.

Keywords: Services, Perception, Statistics, Structural Equation.

Resumen.

Las instituciones de educación superior (IES) como cualquier institución pública o privada ofrece distintos servicios, los más relevantes relacionados al aspecto académico. El objetivo de esta investigación es medir estadísticamente la calidad del servicio institucional, a través de la percepción de la satisfacción estudiantil. El estudio se desarrolló en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Espoch), con los estudiantes matriculados en el periodo Octubre 2017- Marzo 2018. Para el levantamiento de información primaria se aplicaron encuestas estructuradas en 7 bloques de preguntas, que constituyen las variables latentes en estudio. Se consultaron 33 preguntas cada una representa una variable de medición, el número de estudiantes consultados provienen de una muestra de 1000 estudiantes. Se analizaron los datos utilizando la técnica estadística Modelo de Ecuaciones Estructurales (MEE), que tiene la capacidad de representar conceptos no observables, para la investigación se consideró las variables latentes del modelo European Customer Satisfaction Index (ECSI): Imagen, Expectativa, Hardware, Software, Valor Percibido, Satisfacción y Lealtad. El MEE propuesto se ajustó con la técnica de mínimos cuadrados parciales, usando el paquete plspm del software estadístico R. Como resultado se calculó estadísticamente el índice INSPOCH de percepción estudiantil de la calidad de los servicios que oferta la ESPOCH, con un valor del 69.02%, además la investigación permitió identificar fortalezas y debilidades de la institución. Con estos resultados las autoridades de la institución pueden tomar decisiones con una visión de mejoramiento

continuo para el beneficio de la comunidad politécnica, considerando a los estudiantes como un actor importante del proceso.

Palabras Claves: Servicios, Percepción, Estadística, Ecuaciones Estructurales.

Introducción.

En la actualidad la Educación Superior está en proceso de brindar una educación de calidad para formar profesionales competitivos que aporten al desarrollo del país, los estudiantes son los principales beneficiarios de este mejoramiento de la calidad educativa.

Alcanzar la calidad en las instituciones educativas está cobrando mayor relevancia, trayendo como consecuencia la formulación de interrogantes que permitan establecer ¿cómo se desarrollan sus procesos educativos en términos de calidad?, la satisfacción estudiantil es una pieza clave para contestar estas interrogantes (Pérez Valduel & Pereyra, 2015).

Pero ¿cómo se debe abordar al estudiante para conocer su sentir y la percepción sobre los servicios que recibe de su IES? es la pregunta que debe plantearse cada organización.

Los estudiantes constituyen la Fuente: de información básica para evaluar la calidad, pertinencia y equidad de su propia formación, así como las fortalezas y debilidades del proceso y sus resultados (Alemañy Pérez, Díaz-Perera, & Perera Fernández, 2014).

Los parámetros de calidad internos han sido difíciles de medir ya que son innumerables los factores que intervienen en el aprendizaje de los estudiantes y, por tanto, en que éstos logren su satisfacción con tales servicios (Pérez Valduel & Pereyra, 2015).

En este sentido, es importante conocer cuáles son los factores que inciden para que los jóvenes decidan ingresar a una universidad. La dimensión “calidad” se puede relacionar con aspectos como: proceso de enseñanza de la planta docente, métodos para transmitir el conocimiento, el desarrollo integral que fomentan a los alumnos, los programas académicos y las instalaciones (Alvarado Lagunas, Luyando-Cuevas, & Picazzo Palencia, Percepción de los estudiantes sobre la calidad de las universidades privadas en Monterrey, 2105).

Bajo este contexto, para Instituciones de Educación Superior (IES), garantizar una educación acorde a niveles globales de calidad se ha vuelto un reto. Partiendo del concepto que los estudiantes son la razón de su existencia ya que a través de sus años de estudios van evaluando su proceso de aprendizaje en relación a la calidad de servicio que brinda la institución, por lo que, es indispensable tomar en cuenta su opinión.

La educación superior en el Ecuador no es ajena a esta necesidad de mejorar continuamente sus servicios educativos, por este motivo se propone realizar un caso de estudio en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, que permita establecer un modelo a seguir para medir

o cuantificar la calidad de los diferentes servicios educativos, convirtiéndose en actor principal de esta evaluación el sector estudiantil.

La ESPOCH se ha convertido en una universidad líder en educación superior en el centro de país. Actualmente cuenta con 14274 estudiantes provenientes de diferentes provincias del país, lo que le exige ofertar un servicio educativo de calidad que genere competencias para enfrentar un campo laboral competitivo y que cada día exige estar en una constante actualización de conocimientos. La ESPOCH no cuenta con una medición de la calidad de servicio institucional que aborde la percepción de satisfacción de los estudiantes politécnicos. Esta investigación dará a conocer un índice de satisfacción para evidenciar la conformidad e inconformidad sobre los servicios que brinda la politécnica. Esto se evidenciará con el ajuste de un modelo estadístico que permita, crear un índice que represente la percepción de la satisfacción de los estudiantes politécnicos. Además, se pretende identificar las fortalezas y debilidades, que serán entregadas a las autoridades institucionales como una herramienta la toma de decisiones para el beneficio de la comunidad politécnica.

En recientes investigaciones los estudios de medición de percepción de satisfacción han utilizado la aplicación del método de ecuaciones estructurales. Como una de las herramientas más potentes para los estudios de relaciones causales, también las empresas elaboran planes estratégicos que requieren conocer el grado de satisfacción que sus productos y servicios que provocan en los clientes. Elaborando indicadores estadísticos que midan la satisfacción (Casas Guillén, 2002).

Los modelos de ecuaciones estructurales en los últimos años han incursionado en el área de la educación lo que permite estimar relaciones causa-efecto entre variables que no son observadas directamente (variable latente). Los modelos de ecuaciones estructurales se han desarrolladas hace 90 años por Stewal Wright, realizando en el campo de la genética, cuyo propósito fue el de permitir el examen de un conjunto de relaciones entre una o más variables independientes, sean estas continuas o discretas según el estudio requerido (Lara Hormigo, 2014).

Bajo esta perspectiva se utiliza la fortaleza de las ecuaciones estructurales para determinar un modelo que determine el índice de satisfacción de la población estudiantil de la ESPOCH en el periodo octubre 2017- marzo 2018.

4. Estado del Arte.

En el estado de Puebla-México se realizó un estudio de satisfacción del estudiante, creando un índice de la calidad de enseñanza, para el análisis de resultados se empleó la técnica de ecuaciones lineales estructurales, en la que obtuvieron resultados muy favorables, es decir, se estaba dando el cumplimiento de expectativa, la infraestructura, la organización, y clima institucional (Garduño Estrada & Flores Lucero, 1999).

Como se evidencia la técnica ya ha sido empleado en trabajos para medir la satisfacción estudiantil, esto da la pauta para personalizar un modelo que se adapte a las condiciones del IES ESPOCH.

En Portugal se realizó un estudio de satisfacción del estudiante tomando en cuenta las variables imagen y valor percibido, considerando que estas han sido las que más contribuyeron a la formación de criterios de satisfacción. Para el levantamiento de datos se utilizó una encuesta, se analizó con un modelo estructural, con el apoyo del software estadístico AMOS (Analysis of Moments Structures) para la modelización de ecuaciones estructurales, obteniendo un índice de 54 sobre 100. Se puede interpretar, que un poco más de la mitad de los alumnos están de acuerdo y el resto están en desacuerdo, con la enseñanza en la Universidad de Da Beira Interior (Alves & Raposo, 2004).

Se puede observar que este tipo de estudio permite involucrar a variables latentes, es decir variables que pueden a su vez contener otras variables.

En la Universidad de Zulia-Venezuela se presentó un estudio para medir la calidad de servicios recibidos en las universidades Chilenas, para estos estudios aplicaron una encuesta recogiendo la información al finalizar cada uno de los ciclos escolares que integran este reporte, concluyendo que la calidad de servicio, depende de un conjunto de factores como: la actitud, comportamiento del profesor, malla curricular, personal administrativo, instalaciones y organizaciones de los curso (Torres Morga & Araya Castillo, 2010).

Una de las mejores formas de obtener información veraz, es precisamente consultar a los actores principales de este proceso educativo.

En la Universidad Autónoma de Chiapas, México. Presentaron un estudio para medir la calidad de servicios recibidos en la institución, para estos estudios aplicaron una encuesta, producto de la aplicación auto administrada del “Instrumento para conocer la satisfacción de los estudiantes universitarios con su educación” (SEUE), los resultados procesados a través de tablas dinámicas construidas en Excel de Microsoft obteniendo un índice de 97%, destacando como resultado el cumplimiento a: necesidades básicas, servicio de apoyo, seguridad vital, socioeconómica y sistemas de trabajo (Fuentes Román, Gordillo Martínez, & Franco Gurría, 2015). Herramientas de libre difusión como R ayudan a el proceso y aplicación de la técnica para analizar los resultados.

La universidad autónoma de Nuevo León y el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey desarrollo un estudio de percepción de la calidad educativa utilizando el modelo de ecuaciones estructurales, esto permitió conocer qué; los estudiantes del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey le dan mayor peso a las instalaciones modernas e innovación tecnológica dentro de las aulas, mientras que los estudiantes de la Universidad Autónoma de Nuevo León valoran más la preparación académica de la planta

docente (Alvarado Lagunas, Morales Ramírez, & Aguayo Téllez, Percepción de la calidad educativa: caso aplicado a estudiantes de la Universidad Autónoma de Nuevo León y del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, 2016).

En la Universidad Veracruzana se presentó un estudio realizado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo acerca de la calidad de educación superior desde la perspectiva de satisfacción del estudiante (Viñán Andino, 2015).

Este modelo es aplicable, pero se debe complementar además la consulta a los estudiantes, sobre aspectos como relación con sus autoridades tanto administrativas, académicas y estudiantiles. Entonces el estudiante tiene la oportunidad de responder sobre aspectos de infraestructura, docencia, vinculación y relación con autoridades, esto permite conocer el sentir de los educandos sobre su IES.

5. Metodología.

La metodología utilizada en esta investigación considera los siguientes pasos: Establecer tipo y diseño de la investigación, definición de la muestra, recolección de datos, análisis global, cálculo del índice de satisfacción y análisis descriptivo, como se presenta en la Figura 1.

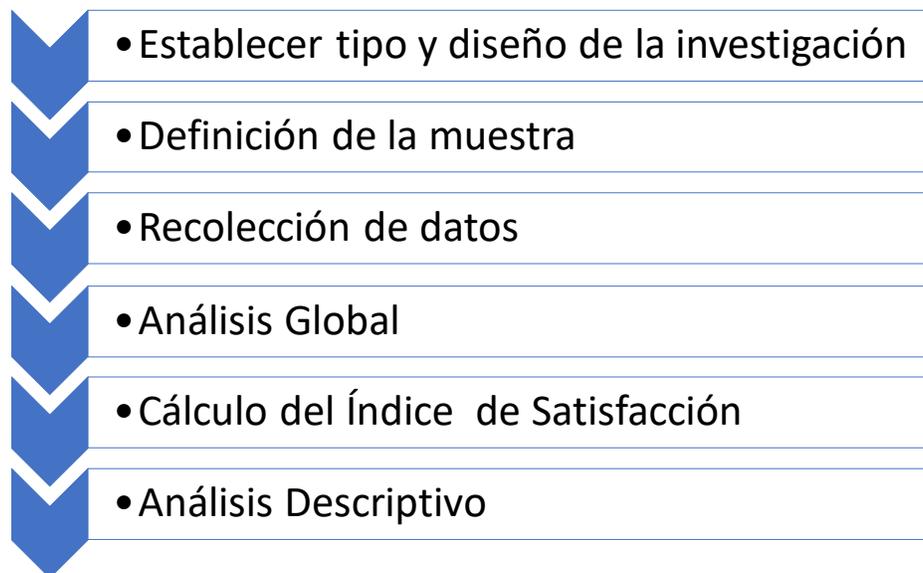


Figura 1. Metodología. Fuente: (Los Autores).

5.1. Establecer tipo y diseño de la investigación.

La naturaleza de la investigación es de tipo: prospectivo, transversal y analítico. La muestra considera los estudiantes matriculados en las distintas facultades de la Espoch, en el periodo académico octubre 2017- marzo 2018.

Tomando como referencia al European Customer Satisfaction Index (ECSI) para medición de satisfacción, se seleccionó 7 variables latentes para construir un modelo estructural. Cada variable latente se formó con n variables de medición, que fueron medidas mediante cada pregunta del cuestionario, la valoración escogida es de 1 a 10 en escala tipo Likert, siendo 1 lo más bajo y 10 lo más alto.

Para la selección de la muestra se realizó un muestreo de dos etapas. La primera etapa considerando un muestreo aleatorio estratificado en 7 facultades: Administración de Empresas, Ciencia, Ciencias Pecuarias, Informática y Electrónica, Mecánica, Recursos Naturales y Salud Pública, conformando así los grupos o estratos. En la segunda etapa se aplicó un muestreo con probabilidad proporcional al tamaño, es decir, una vez determinado el tamaño de muestra, se calculó la proporción de encuestas a aplicar aleatoriamente dentro de cada facultad. Por ejemplo, la facultad con más número de estudiantes representó con mayor número de individuos encuestados para la muestra.

Para la validación del cuestionario se realizó una prueba piloto valorando a través del alfa de Cronbach que arrojó valores aceptables. La recolección de información se realizó en jornadas de trabajo por las mañana y tarde durante 5 días, se logró encuestar a los estudiantes de las 7 facultades con sus respectivas carreras. Para el proceso de campo se contó con colaboración de 80 estudiantes encuestadores y 8 estudiantes en la supervisión, pertenecientes a la carrera de Ingeniería en Estadística Informática, garantizado así, que la información levantada sea aleatoria y con respuestas estudiantiles de todas las carreras que la ESPOCH oferta.

Una vez levantada la información se procedió a su tabulación, validación y análisis. Para evitar errores en los posteriores análisis se realizó un ajuste con mínimos cuadrados parciales, del modelo de Ecuaciones Estructurales propuesto, utilizando el paquete PLSPM (Partial Least Squares Modeling) del software estadístico R.

5.2. Obtención de la muestra.

La población del estudio corresponde a los estudiantes de la ESPOCH matriculados durante el periodo académico octubre 2017 - marzo 2018, en este periodo se tiene un total de 14.274 estudiantes, la agrupación se evidencia en la Tabla 1.

Tabla 1. Población de estudio.

Facultad	Número de estudiantes
Administración de empresas	2653
Ciencias	2568
Ciencias pecuarias	939
Informática y electrónica	1809
Mecánica	2434
Recursos naturales	1403
Salud pública	2468

Total	14274
-------	-------

Nota. Estudiantes matriculados 14274 en la Epoch. Fuente: (Los Autores)

Analizando los parámetros: costo, tiempo y buena calidad en el levantamiento de información, se decidió realizar el levantamiento de datos con una muestra de 1000 estudiantes, se consideró un método del Muestreo Probabilístico conocido como Muestreo Aleatorio Estratificado, que estratifica (N individuos), es decir, se forman grupos (k estratos).

$$N = N_1 + N_2 + \dots + N_k$$

$$N = N_1 + N_2 + \dots + N_7$$

$$N = N_{FADE} + N_{CIENCIAS} +$$

$$N_{(C.PECUARIAS)} + N_{FIE} + N_{MECÁNICA} + N_{(R.NATURALES)} + N_{(S.PÚBLICA)}$$

A continuación, se aplicó la asignación proporcional, es decir, que los elementos se distribuyen en estratos muestrales proporcionales al tamaño de estos en la población. Para seleccionar una muestra de tamaño n de una población que ha sido estratificada en k estratos, se seleccionó tamaños de muestra para la distribución proporcional de cada estrato mediante la fórmula:

$$n_i = \frac{N_i}{N} n$$

La asignación proporcional de cada estrato es la siguiente:

$$n_1 = \frac{N_{FADE}}{N} n = 185.86 \approx 186$$

$$n_2 = \frac{N_{CIENCIAS}}{N} n = 79.90 \approx 180$$

$$n_3 = \frac{N_{C.PECUARIAS}}{N} n = 65.78 \approx 66$$

$$n_4 = \frac{N_{FIE}}{N} n = 126.73 \approx 127$$

$$n_5 = \frac{N_{MECÁNICA}}{Nn} = 170.15 \approx 170$$

$$n_6 = \frac{N_{R.NATURALES}}{Nn} = 98.29 \approx 98$$

$$n_7 = \frac{N_{FADE}}{Nn} = 172.90 \approx 173$$

$$n = n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 + n_6 + n_7$$

$$n = 186 + 180 + 66 + 127 + 170 + 98 + 173$$

$$n = 1000$$

Tabla 2. Definición de la muestra.

Facultad	N_i	n_i
Administración de empresas	2653	186
Ciencias	2568	180
Ciencias pecuarias	939	66
Informática y electrónica	1809	127
Mecánica	2434	170
Recursos naturales	1403	98
Salud pública	2468	173
Total	$N = 14274$	$n = 1000$

Nota. La muestra establecida es de 1000 estudiantes. Fuente: (Los Autores)

5.3. Recolección de datos.

La entrevista, observación, y el cuestionario son los instrumentos más comunes para recolectar datos. En esta investigación la técnica para la recolección de datos que se aplicó es el cuestionario. Esta encuesta está compuesta de 7 bloques de preguntas que representan a variables latentes con un total de 33 variables de medición, asignando a la misma una calificación (escala Likert 1 a 10: 1 lo más bajo y 10 lo más alto) de acuerdo a la percepción de satisfacción que tiene el estudiante encuestado de los servicios que oferta la ESPOCH.

El análisis Global, cálculo del índice de satisfacción y el análisis descriptivo se explican en la sección de resultados.

6. Resultados.

6.1. Análisis Global.

Como se observa la Tabla 3. La evaluación del modelo de medición se realiza a través de alfas de Cronbach y Rho de Dillon, en este caso todas las variables latentes resultan ser mayores de 0.7 en ambos casos, esto indica que existe unidimensionalidad, entonces cada variable de medición está representada adecuadamente con su variable latente asociada.

Tabla 3. Fiabilidad compuesta de las variables latentes INSPOCH.

Variable latente	Alfas de Cronbach	Rho de Dillon
Imagen	0.89	0.92
Expectativa	0.87	0.90
Hardware	0.91	0.93
Software	0.87	0.92
Valor percibido	0.90	0.94
Satisfacción	0.91	0.94
Lealtad	0.85	0.90

Nota. Coeficientes de las variables latentes mayores a 0.7. Fuente: (Los Autores)
Según la matriz de correlaciones Tabla 4, existe una correlación positiva fuerte de 82% entre las variables latentes; Lealtad-Satisfacción y una correlación positiva baja de 49% entre Lealtad-Imagen, que constituyen el punto más alto y bajo respectivamente.

Tabla 4. Correlaciones entre las variables latentes.

Variable latente	Imagen	Expectativa	Hardware	Software	Valor percibido	Satisfacción	Lealtad
Imagen	1.00						
Expectativa	0.64	1.00					
Hardware	0.60	0.73	1.00				
Software	0.57	0.68	0.77	1.00			
Valor percibido	0.55	0.62	0.73	0.79	1.00		
Satisfacción	0.57	0.64	0.77	0.79	0.80	1.00	
Lealtad	0.49	0.55	0.70	0.68	0.71	0.82	1.00

Nota. Mayor correlación presente en Lealtad-Satisfacción. Fuente: (Los Autores)

En el caso de las comunalidades, todos los indicadores sobrepasan el valor de referencia 0.49 es decir los indicadores en dichos bloques están bien explicados por su respectiva variable latente, esto se observa en la Tabla 5.

Tabla 5. Pesos externos del modelo y comunalidades.

Variable latente	Variable manifiesta	pesos	Comunalidad
Imagen	I1	0.26	0.70
	I2	0.31	0.82
	I3	0.28	0.74
	I4	0.30	0.74
Expectativa	E1	0.20	0.50
	E2	0.16	0.50
	E3	0.18	0.54
	E4	0.17	0.60
	E5	0.22	0.63
	E6	0.21	0.67
	E7	0.18	0.53
Hardware	Hw1	0.20	0.66
	Hw2	0.20	0.67
	Hw3	0.19	0.66
	Hw4	0.18	0.69
	Hw5	0.15	0.61
	Hw6	0.17	0.66
	Hw7	0.15	0.56
Software	Sw1	0.40	0.78
	Sw2	0.37	0.85
	Sw3	0.35	0.76
Valor percibido	P1	0.38	0.82
	P2	0.36	0.86
	P3	0.35	0.82
Satisfacción	S1	0.30	0.85
	S2	0.29	0.87
	S3	0.28	0.82
	S4	0.25	0.63
Lealtad	L1	0.26	0.67
	L2	0.31	0.84
	L3	0.27	0.76
	L4	0.18	0.50
	L5	0.21	0.53

Nota. Comunalidades mayores a 0.49. Fuente: (Los autores)

Con respecto a las cargas de medición Tablas 6 se tiene valores mayores a 0.7 en todos los casos, estos son valores aceptables para el modelo.

Tabla 6. Cargas de medición e intervalos de confianza de arranque.

Variable Latente	Variable manifiesta	Cargas	Boot mean	Límite inferior	Límite superior
Imagen	I1	0.84	0.84	0.80	0.87
	I2	0.90	0.90	0.89	0.92
	I3	0.86	0.86	0.84	0.88
	I4	0.86	0.86	0.84	0.88
Expectativa	E1	0.71	0.71	0.66	0.75
	E2	0.71	0.71	0.67	0.75
	E3	0.74	0.74	0.70	0.77
	E4	0.77	0.77	0.74	0.80
	E5	0.79	0.79	0.76	0.82
	E6	0.82	0.82	0.79	0.84
	E7	0.73	0.73	0.69	0.76
Hardware	Hw1	0.81	0.82	0.79	0.84
	Hw2	0.82	0.82	0.79	0.84
	Hw3	0.81	0.82	0.78	0.84
	Hw4	0.83	0.83	0.80	0.85
	Hw5	0.78	0.78	0.74	0.81
	Hw6	0.81	0.81	0.78	0.84
	Hw7	0.75	0.75	0.71	0.78
Software	Sw1	0.89	0.89	0.87	0.90
	Sw2	0.92	0.92	0.90	0.93
	Sw3	0.87	0.87	0.85	0.89
Valor percibido	P1	0.91	0.91	0.89	0.92
	P2	0.93	0.93	0.91	0.94
	P3	0.91	0.91	0.89	0.92
Satisfacción	S1	0.92	0.93	0.91	0.94
	S2	0.93	0.94	0.92	0.95
	S3	0.91	0.91	0.89	0.92
	S4	0.80	0.80	0.76	0.82
Lealtad	L1	0.82	0.82	0.79	0.84
	L2	0.92	0.92	0.91	0.93
	L3	0.87	0.87	0.85	0.89
	L4	0.72	0.62	0.65	0.78
	L5	0.73	0.73	0.68	0.77

Nota. Cargas de medición e intervalos aceptables. Fuente: (Los autores).

Analizando los resultados de la tabla 7, coeficientes de trayectoria, las relaciones significativas del modelo son: Expectativa-Imagen con 0.64, Valor Percibido-Software con 0.55, Satisfacción-Valor Percibido con 0.43 y por último con 0.79 Lealtad-Satisfacción.

Tabla 7. Coeficientes de trayectoria.

	Imagen	Expectativa	Hardware	Software	Valor percibido	Satisfacción	Lealtad
Expectativa	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Valor percibido	0.00	0.04	0.28	0.55	0.00	0.00	0.00
Satisfacción	0.08	0.09	0.00	0.35	0.43	0.00	0.00
Lealtad	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.79	0.00

Nota. La relación Lealtad-Satisfacción es más significativa. Fuente: (Los autores)

Los eigen valores de la tabla 8 indican los primeros autovalores superiores a 1, en contraste los segundos con mediciones menores que 1, esto verifica que las variables de cada bloque pertenecen a un espacio unidimensional.

Tabla 8. Autovalores.

	Mode	Mvs	Alfas de Cronbach	Rho de Dillon	Eig.1st	Eig.2nd
Imagen	A	4	0.89	0.92	3.00	0.40
Expectativa	A	7	0.87	0.90	3.97	0.74
Hardware	A	7	0.91	0.93	4.51	0.95
Software	A	3	0.87	0.92	2.39	0.38
Valor percibido	A	3	0.90	0.94	2.50	0.29
Satisfacción	A	4	0.91	0.94	3.18	0.46
Lealtad	A	5	0.85	0.90	3.18	0.80

Nota. Las variables de cada bloque son unidimensionales. Fuente: (Los autores)

Los coeficientes de determinación R² de las variables latentes endógenas permiten evaluar el poder predictivo del modelo, dichos valores oscilan entre 0 y 1, cuando más se acerca a 1 el poder predictivo es mayor y cuando más cerca de 0 su poder predictivo será menor tabla número 9.

Tabla 9. Valores de R²

Tipo	R ²
------	----------------

Expectativa	Endogenous	0.405
Valor percibido	Endogenous	0.663
Satisfacción	Endogenous	0.713
Lealtad	Endogenous	0.665

Nota. Valor predictivo medio. Fuente: (Los autores)

El índice de GoF toma en cuenta el rendimiento del modelo de medición y el modelo estructural, proporciona una medida única para el rendimiento general de predicción del modelo, mientras más alto el valor mejor, en este caso la potencia de predicción del modelo es de 65% Tabla 10.

Tabla 10. Índice GoF del Modelo

ÍNDICE GOF
0.65

Nota. Rendimiento de predicción del modelo medio. Fuente: (Los autores)

6.2. Cálculo del índice de Satisfacción

Una vez realizado el ajuste del modelo se procede a calcular el índice.

Dónde: Sat es la variable latente “Satisfacción”

$$Sat = \omega_1 S_1 + \omega_2 S_2 + \omega_3 S_3$$

Cada cantidad de I se estima de la siguiente manera:

$$\bar{S}_1 = 7.42 \quad \hat{\omega}_1 = 0.30$$

$$\bar{S}_2 = 7.29 \quad \hat{\omega}_2 = 0.29$$

$$\bar{S}_3 = 7.43 \quad \hat{\omega}_3 = 0.28$$

$$\bar{S}_4 = 6.62 \quad \hat{w}_4 = 0.25$$

$$\hat{E}(Sat) = \hat{w}_1\bar{S}_1 + \hat{w}_2\bar{S}_2 + \hat{w}_3\bar{S}_3 + \dots + \hat{w}_n\bar{S}_n$$

$$\hat{E}(Sat) = 8.07$$

$$\text{mín}(Sat) = \hat{w}_1\text{mín}S_1 + \hat{w}_2\text{mín}S_2 + \hat{w}_3\text{mín}S_3 + \dots + \hat{w}_n\text{mín}S_n$$

$$\text{mín}(Sat) = 1.12$$

$$\text{máx}(Sat) = \hat{w}_1\text{máx}S_1 + \hat{w}_2\text{máx}S_2 + \hat{w}_3\text{máx}S_3 + \dots + \hat{w}_n\text{máx}S_n$$

$$\text{máx}(Sat) = 11.19$$

$$I = \frac{E(Sat) - \text{mín}(Sat)}{\text{máx}(Sat) - \text{mín}(Sat)} \times 100$$

$$I = 69.02\%$$

El índice de percepción de satisfacción estudiantil calculado es 69.02%. En general índices aceptables normalmente sobrepasan el 70%.

6.3. Análisis descriptivo.

Con la información recopilada se puede hacer un amplio análisis descriptivo, para este artículo se presentan algunos casos relevantes.

Con respecto a la variable I1=" Imagen global como Institución de Educación Superior" se observa una calificación de 8 puntos como la más alta y de 2 puntos la más baja Figura 2. No se puede considerar que exista uniformidad de criterios sobre esta variable, por lo cual se debe considerar una estrategia que permita el incremento en la valoración de esta variable.



Figura 2. Imagen global como Institución de Educación Superior (Los Autores)

La variable “E5= Calidad del nivel académico de los profesores” alcanza una calificación de 9, aproximadamente el criterio del 28% de estudiantes Figura 3.

Con esta medida se puede considerar que existe confianza respecto a la calidad de la planta docente de las distintas facultades evaluadas. Este criterio es un voto de confianza hacia los docentes y sus actividades dentro de cada carrera.

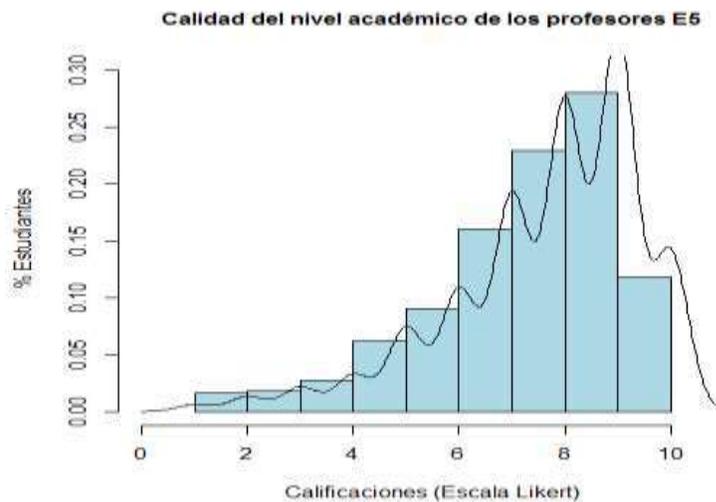


Figura 3. Calidad del nivel académico de los profesores (Los Autores)

Con respecto a la variable HW2= "Calidad global de las carreras que oferta la ESPOCH" se observa una calificación de 8 puntos como la más alta y de 1 puntos la más baja Figura 4. Este es un punto que debe ser observado, la existencia de valores muy bajos, indica que existe una población estudiantil que aún no se encuentra satisfecha con las carreras de las que forman parte.

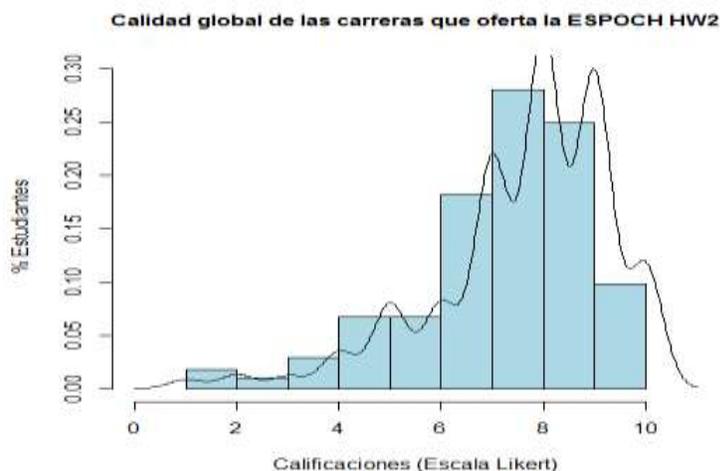


Figura 4. Calidad global de las carreras que oferta la ESPOCH (Los Autores)

En la variable HW5= "Calidad global de la infraestructura de las aulas" se observa una calificación de 7 puntos como la más alta y de 1 puntos la más baja Figura 5.



Figura 5. Calidad global de la infraestructura de las aulas (Los Autores)

En la tabla 11 se analiza las debilidades percibidas por los estudiantes sobre los servicios que oferta la institución.

Tabla 11. Debilidades percibidas por los estudiantes

Variable latente	Variable de medición	Calificación
Imagen	I_1 . Imagen global como institución de educación superior.	2
Expectativa	E_5 . Calidad del nivel académico de los profesores.	1
Hardware	HW_2 . Calidad global de las carreras que oferta la Epoch.	1
Software	SW_1 . Calidad global del proceso de enseñanza-aprendizaje por parte de los profesores.	1
Valor percibido	P_1 . Calidad de la educación que está adquiriendo en términos de lo que le está costando (en tiempo, esfuerzo y dinero).	2
Satisfacción	S_1 . Satisfacción global con la Epoch.	1
Lealtad	L_2 . Recomendar la Epoch a otros estudiantes.	2

Nota. La calificación de las debilidades de la institución es baja. Fuente: (Los autores)

La variable S4= "Fácil comunicación con las autoridades" presenta una calificación de 7 puntos como la más alta y de 2 puntos la más baja Figura 6.



Figura 6. Fácil comunicación con las autoridades (Los Autores)

Con este breve análisis descriptivo se refleja un alto potencial para el análisis individual de cada pregunta de la encuesta. Otra ventaja de este proyecto es que permite establecer un conjunto de debilidades y fortalezas que permiten analizar la institución educativa, convirtiéndose en una herramienta que permite observar la realidad de la organización en su conjunto.

En la tabla 12 se presenta una matriz con las fortalezas y áreas de oportunidad determinadas del análisis de los datos.

En promedio la calificación porcentual de los estudiantes en cada uno de los ítems es la siguiente: 20 estudiantes que representa el 2% calificaron con 1 punto, 17 estudiantes que representa el 1.7% calificaron con 2 puntos, 25 estudiante que representa un 2.5% calificaron con 3 puntos, 41 estudiantes es decir el 4.1% que dio una calificación de 4 puntos, tenemos a 77 estudiantes es decir el 7.7% que calificaron con 5 puntos, 106 estudiantes corresponde a 10.6% calificando en una escala de 6 puntos, 177 estudiantes que corresponde a 17.7 % calificando con 7 puntos, 244 estudiantes que corresponde a 24.4 % tenemos una calificación de 8 puntos, 199 estudiantes es decir un 19.9% calificaron con 9 puntos y tenemos a 94 estudiantes calificaron con 10 puntos.

Tabla 12. Fortalezas y área de oportunidad

Variable latente	Fortalezas	Calificación	Área de oportunidad
Imagen	I_4 . Credibilidad de la institución.	8	Cada vez una mayor población estudiantil escoja la EsPOCH como su centro de formación profesional.
Expectativa	E_1 . Calidad del contenido de los sílabos de las asignaturas que has recibido en la EsPOCH.	8	Los conocimientos que ha recibido el estudiante le significan una base para su futuro desempeño profesional.
Hardware	HW_5 . Calidad global de la infraestructura de las aulas.	7	La infraestructura actual deberá ser mejorada para soportar el incremento de una mayor población estudiantil.
Software	SW_3 . Calidad global del servicio prestado por el personal administrativo	8	El adecuado servicio que brinda los involucrados en el proceso académico garantiza que el

	(administradores, secretarias, encargados de bibliotecas, encargados de laboratorios de cómputo).		estudiante encuentre apoyo para cumplir desempeño diario.
Valor percibido	P_2 . Importancia de la educación que está adquiriendo en términos del empleo.	7	Una buena formación abrirá puertas a los estudiantes egresados para obtener un trabajo adecuado a su formación.
Satisfacción	S_4 . Fácil comunicación con las autoridades.	7	Las autoridades pueden conocer de primera mano las expectativas, sentir necesidades del sector estudiantil.
Lealtad	L_5 . Elegir la misma carrera en la Espoch si tuviera que hacerlo.	9	El sector estudiantil percibe un sentimiento de lealtad y de satisfacción sobre su actual carrera lo que constituye en un compromiso y una sinergia para alcanzar la acreditación de carreras.

Nota. Fortalezas y área de oportunidad. Fuente: (Los autores)

En la tabla 13 se observan un resumen de las calificaciones de los estudiantes consultados, aproximadamente un 11 % califica las distintas preguntas con valores inferiores a 5, esto permite establecer que las autoridades establezcan estrategias para disminuir este porcentaje.

Tabla 13. Promedio de calificaciones respecto a los ítems

Calificaciones (Escala Likert)	# Estudiantes	% Estudiantes
1	20	2.0
2	17	1.7
3	25	2.5
4	41	4.1
5	77	7.7
6	106	10.6
7	177	17.7

8	244	24.4
9	199	19.9
10	94	9.4

Tabla 13: El 11% de las calificaciones son inferiores a 5 (Los autores)

Conclusiones.

- El Modelo de Ecuaciones Estructurales utilizado considera 7 variables latentes: 3 exógenas y 4 endógenas con sus respectivas variables de medición: Imagen (4 variables), Expectativa (7 variables), Hardware (7 variables), Software (3 variables), Valor Percibido (3 variables), Satisfacción (4 variables) y Lealtad (5 variables), obteniendo un índice de GoF aceptable de 65%.
- El índice calculado de percepción de satisfacción se lo obtuvo mediante mínimos cuadrados parciales, para lo cual se utilizó el paquete plspm del software estadístico R. Como resultado se obtuvo el índice INSPOCH con un valor de 69.02 % que indica la percepción de los estudiantes de las 7 facultades de la ESPOCH y sus respectivas carreras, se considera el 70% como satisfactorio por lo cual podemos decir que la percepción sobre los servicios que la ESPOCH ofrece a sus estudiantes está cerca de un valor satisfactorio.
- Considerar la opinión estudiantil permite mantener un proceso de mejora continua en la ESPOCH h, de forma que se alcance una educación superior de calidad. El análisis realizado identifica fortalezas y oportunidades. Considerando como fortaleza I_4: credibilidad de la institución (8/10), se espera la oportunidad de que una mayor población estudiantil escoja la ESPOCH como su centro de formación profesional. La fortaleza E_1: Calidad del contenido de los sílabos de las asignaturas (8/10), brinda la oportunidad que los conocimientos que ha recibido el estudiante le signifiquen una base para su futuro desempeño profesional. La fortaleza [HW] _5: Calidad global de infraestructura de las aulas (7/10), indica una oportunidad en la mejora de la infraestructura actual para soportar el incremento de una mayor población estudiantil. [SW] _3: Calidad global del servicio prestado por el personal administrativo (8/10) como fortaleza permite una oportunidad en alcanzar un adecuado servicio a los involucrados en el proceso académico para que el estudiante encuentre apoyo en el cumplimiento de su desempeño diario. La fortaleza P_2: Importancia de la educación que está adquiriendo en términos del empleo (7/10), una oportunidad para que los estudiantes egresados obtengan un trabajo adecuado a su formación. La fortaleza S_4: Fácil comunicación con las autoridades (7/10), una oportunidad para que las autoridades pueden conocer y sentir de primera mano las expectativas del sector estudiantil. Finalmente, la fortaleza L_5: Elegiría la misma

carrera en la ESPOCH si tuviera que hacerlo (9/10), proporciona la oportunidad de conseguir el compromiso y lealtad del sector estudiantil con su carrera mejorado la sinergia para alcanzar la acreditación de carreras.

- La investigación desarrollada presenta un modelo para medir la satisfacción estudiantil, se plantea extender la investigación a una comparativa de los resultados actuales y anteriores de forma que se pueda evidenciar en que aspectos se ha mejorado o en su defecto conocer si ha bajado los niveles de satisfacción estudiantil.

Agradecimiento.

Los autores agradecen al sector estudiantil de la Espoch y de manera particular a los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Estadística Informática por su apoyo en el levantamiento de información.

Referencias bibliográficas.

- Alemañy Pérez, E., Díaz-Perera, C. A., & Perera Fernández, G. D. (2014). Percepción de estudiantes sobre el proceso docente educativo. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 13(6).
- Alvarado Lagunas, E., Luyando-Cuevas, J.-R., & Picazzo Palencia, E. (2105). Percepción de los estudiantes sobre la calidad de las universidades privadas en Monterrey. *Revista Iberoamericana de Educación Superior*, VI(17).
- Alvarado Lagunas, E., Morales Ramírez, D., & Aguayo Téllez, E. (2016). Percepción de la calidad educativa: caso aplicado a estudiantes de la Universidad Autónoma de Nuevo León y del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey. *Revista de la Educación Superior*, 45, 55-74.
- Alves, H., & Raposo, M. (2004). La medición de la satisfacción en la enseñanza universitaria: El ejemplo de la universidade da beirainterior. *International Review Public Nonprofit*

- Marketing*, 1(1), 73. Obtenido de https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/42762964/La_medicin_de_la_satisfaccin_en_la_ensea20160217-12547-1rudq36.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1517532608&Signature=HCu40cZIOc2JBIObXRbRSSkgBi8%3D&response-content-disposition=inline
- Casas Guillén, M. (2002). *Los modelos de ecuaciones estructurales y su aplicación en el Índice Europeo de Satisfacción del Cliente*. Madrid: Universidad San Pablo CEU. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/26440779_Los_modelos_de_ecuaciones_estructurales_y_su_aplicacion_en_el_Indice_Europeo_de_Satisfaccion_del_Cliente
- Fuentes Román, C. J., Gordillo Martínez, Á. E., & Franco Gurría, R. T. (2015). Satisfacción estudiantil sobre servicios recibidos en la universidad: percepción de egresados. *Revista Internacional Administración & Finanzas*, 8(3), 103-112. Obtenido de <http://www.theibfr2.com/RePEc/ibf/riafin/riaf-v8n3-2015/RIAF-V8N3-2015.pdf#page=105>
- Garduño Estrada, L. R., & Flores Lucero, A. (1999). Estudio de la satisfacción del estudiante como indicador de la calidad de la enseñanza en las escuelas normales del estado de puebla. *Revista Iberoamericana de Educación*. Obtenido de <http://www.comie.org.mx/congreso/memoriaelectronica/v09/ponencias/at01/PRE1180989880.pdf>
- Lara Hormigo, A. (2014). Introducción a las Ecuaciones Estructurales en AMOS y R. Obtenido de <http://masteres.ugr.es/moea/pages/curso201314/tfm1314/tfm-septiembre1314/memoriamastrerlahormigoantonio>
- Pérez ValducIel, I., & Pereyra, E. E. (2015). Satisfacción estudiantil: un indicador de la calidad educativa en el departamento de biología celular, UCV. *Revista de Pedagogía*, 36(99), 69-89.
- Torres Morga, E., & Araya Castillo, L. (2010). Construcción de una escala para medir la calidad del servicio de las universidades: Una Aplicación Contexto Chileno. *Revista de Ciencias Sociales (RCS)*, 16(1), 54-67. Obtenido de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S1315-95182010000100006&script=sci_arttext
- Viñán Andino, A. (2015). *Medición de la Calidad de la Educación Superior Institucional desde la Perspectiva de Satisfacción del Estudiante: Caso de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*. Veracruz.



Para citar el artículo indexado.

Chacha R., López M., & Viñan A. (2018). Medición estadística de la calidad del servicio institucional en instituciones de educación superior, a través de la percepción de la satisfacción estudiantil. *Revista electrónica Ciencia Digital* 2(4), 70-93. Recuperado desde: <http://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/view/191/16>

9



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Ciencia Digital**.

El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Ciencia Digital**.



Uso de la estadística y análisis implicativo para medir la percepción de conocimientos, hábitos y actitudes en consumidores de carne de la ciudad de Riobamba.



Use of the Implicative Statistical and analysis to measure the perception of knowledge, habits, and attitudes in consumers of the city of Riobamba.

Paola Villalón-Muñoz.¹⁵, Marcelo Ramos-Flores.¹⁶, Edgar de la Bastida-Guerra.¹⁷, Paola Argüello Hernández.¹⁸, Sonia Peñafiel-Acosta.¹⁹, Jesús López-Salazar.²⁰ & Guido Brito-Zúñiga.²¹

Recibido: 13-07-2017 / Revisado: 07-09-2018 Aceptado: 05-10-2018/ Publicado: 01-11-2018

Abstract.

DOI: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v2i4.1.192>

The research, conducted in the city of Riobamba in 2015, on a sample of 1067 people, with a reliability of 95% and margin of error of 5%, makes use of descriptive statistics and implicative analysis to measure different aspects of consumption of meat in the city of Riobamba. Pollsters and researchers were placed in different neighborhoods and markets of the city who, through surveys with closed and open questions, collected information, which was analyzed with descriptive statistics, to outline the generalities of meat consumption, and implicative analysis to elucidate similarities in the answers, as well as quasi-implications (relations of type "if A occurs, then B occurs") and their cohesion (degree in which the implications found go beyond the random), all helped by graphic schemes that help to appreciate visually these relationships (tree of similarity and graphs of implications and cohesion). Excel and SPSS v18 were used for the descriptive analysis and the CHIC program (Classification Hiérarchique Implicative et Chohésitive) v6.0 for the implicative analysis. The results show a marked preference for chicken meat 26.87%, followed by beef, fish, pork and guinea pig. 39.8% of consumers claim to ignore the provenance of slaughter of the meat they eat, 11% say they have eaten meat from a clandestine slaughter; 38.4% of the inhabitants have become ill due to eating meat in poor condition and 46.57% know something about the possible diseases associated with the consumption of meat in poor condition. The implicative analysis identified a sequence in the incorporation of types of meat: beef, chicken, goat and sheep, guinea pigs and fish. Other meta-rules of importance are the need to train the consumer of the quality factors of a meat so that it can demand it in the purchase, also that the quality evaluation carried out by the

¹⁵ Grupo de investigación de la Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Ecuador, pvillalon@uea.edu.ec

¹⁶ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Grupo de investigación Ciencia de Datos, CiDED, Riobamba, Ecuador, jmramos@epoch.edu.ec

¹⁷ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Grupo de investigación Ciencia de Datos, CiDED, Riobamba, Ecuador, edgardelabastida@gmail.com.

¹⁸ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Grupo de Investigación SAGID, Riobamba, Ecuador, p_arguello@epoch.edu.ec.

¹⁹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Grupo de Investigación BIOSEGAL, Riobamba, Ecuador, sonia.penafiel@epoch.edu.ec

²⁰ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Grupo de Investigación BIOSEGAL, Riobamba, Ecuador, jrlopezkike@yahoo.com

²¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Grupo de Investigación BIOSEGAL, Riobamba, Ecuador, ggbzat@yahoo.com

consumer takes as a starting point the sensory appreciation to, sequentially, attend to the aspects of seal of quality, place of origin and hygiene of the premises. Finally, the contribution of the implicative analysis to delimit and contextualize the generalizations of the descriptive statistics is discussed and revealed, revealing meta rules that relate the responses of the respondents, ultimately providing a methodology to statistically profile and analyze the habits and trends of consumption of meat by a population.

Keywords: Implicative statistics analysis, Descriptive statistics, Meat consumption, Consumption habits, Qualite perception, Riobamba

Resumen.

La investigación, realizada en la ciudad de Riobamba en el año 2015, sobre una muestra de 1067 personas, con una confiabilidad de 95% y margen de error del 5%, hace uso de estadística descriptiva y análisis implicativo para medir diferentes aspectos del consumo de carne en la ciudad de Riobamba. Se diseminaron encuestadores e investigadores en diferentes barrios y mercados de la urbe quienes a través de encuestas con preguntas cerradas y abiertas recopilaron información, que se analizó con estadística descriptiva, para perfilar las generalidades del consumo de carnes, y análisis implicativo para dilucidar similitudes en las respuestas, así como cuasi implicaciones (relaciones de tipo “si ocurre A, entonces ocurre B”) y su cohesión (grado en que las implicaciones halladas van más allá de lo aleatorio), todo ayudado de esquemas gráficos que ayudan a apreciar visualmente estas relaciones (árbol de similaridad y grafos de implicaciones y cohesión). Se utilizó Excel y SPSS v18 para el análisis descriptivo y el programa CHIC (Classification Hiérarchique Implicative et Chohésitive) v6.0 para el análisis implicativo. Los resultados muestran una marcada preferencia por la carne de pollo 26,87%, seguida de la de res, pescado, cerdo y cuy. El 39,8% de los consumidores asegura desconocer la procedencia de faenamiento de la carne que consume, 11% asegura haber comido carne de un camal clandestino; 38,4% de los pobladores se han enfermado por consumir carne en mal estado y 46,57% conoce algo sobre las posibles enfermedades asociadas al consumo de la carne en mal estado. El análisis implicativo identificó una secuencia en la incorporación de tipos de carne: res, pollo, cabra y oveja, cuyes y pescado. Otras metareglas de importancia son la necesidad de capacitar al consumidor de los factores de calidad de una carne para que éste pueda exigirla en la compra, también que la evaluación de calidad realizada por el consumidor toma como punto inicial la apreciación sensorial para, secuencialmente, atender a los aspectos de sello de calidad, lugar de procedencia e higiene del local. Se discute y destaca, finalmente, el aporte del análisis implicativo para acotar y contextualizar las generalizaciones de la estadística descriptiva y revelar meta reglas que relacionan las respuestas de los encuestados, aportando en último término una metodología para perfilar y analizar estadísticamente los hábitos y tendencias de consumo de cárnicos por parte de una población.

Palabras Claves: Análisis estadístico implicativo, Estadística descriptiva, Consumo de carne, Hábitos de consumo, Percepción de calidad, Riobamba.

7. Introducción.

La Estadística permite en función de observaciones en condiciones similares analizar las tendencias de los resultados y determinar algunas mediciones que describen la realidad y permiten resolver situaciones puntuales (Camacho, 2003). En este sentido, aporta a explicar los resultados de investigaciones e interpretar la información que se obtiene de las mismas (Pineda, de Alvarado, & de Canales, 1994). Existen varias técnicas para el tratamiento de datos, este estudio utiliza estadística descriptiva para analizar la realidad a priori y describir la generalidad del conjunto de datos (Parra, 1995), en tanto que, para analizar características y relaciones de las variables como similaridad, cohesión, y fenómenos de quasi-implicación, se aplicó la técnica de análisis implicativo (Graz & Kuntz, 2009). La estadística implicativa es una técnica de análisis estadístico cuyo objetivo principal contempla la estructuración de datos, interrelacionando sujetos y variables, la extracción de reglas inductivas entre las variables con tolerancia a la presencia de casos de excepción, donde dichas reglas no se cumplan. De allí el uso del término cuasi-implicación (Graz & Kuntz, 2009) (Gras, Susuki, & Guillet, 2008).

El análisis estadístico es una herramienta fundamental en la investigación por su aplicabilidad en los diferentes campos del conocimiento para responder necesidades tanto de descripción, como análisis y correlación de fenómenos. En este trabajo se hace uso de estadística descriptiva y análisis implicativo para estudiar diferentes aspectos del consumo de carne en la ciudad de Riobamba; tema relevante, considerando que la carne es un componente importante de una dieta equilibrada, por ser fuente de proteínas y aminoácidos, minerales como hierro, selenio, zinc y vitaminas B₁₂ (Biesalski, 2006).

Sin embargo, esta composición química también la convierte en un producto altamente perecedero que, si no es manipulado correctamente, puede resultar perjudicial para la salud y que puede revertir altos costos de salud si se considera, el crecimiento demográfico y el aumento de ingresos económicos en el país, que han generado un mayor acceso y demanda de productos de origen animal, principalmente carne (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, 2015).

La calidad de la carne que se consume se encuentra relacionada a varios factores, entre ellos: variables demográficas como la edad, género, segmento socioeconómico, educación e ingreso de los consumidores otros como percepción de la calidad del producto, son concomitantes a conocimientos, hábitos y motivación de consumo, variables que han sido incluidos en este estudio (Sistema de Indicadores Sociales de Ecuador, 2009).

Estos factores pocas veces se consideran al analizar los mercados de diferentes productos a pesar del fuerte impacto que tienen en las poblaciones. En el caso específico de la calidad de la carne que se consume y se expende en el país, es importante analizar y revisar varios aspectos inherentes a la cadena de producción iniciando en el faenamiento de los animales punto crítico en la provisión de carne apta para ingesta humana.

En Ecuador las técnicas de faenamiento de ganado han sido precarias (Delgado, Cedeño, Montes de OcaII, & VillochII, 2015) (Calero León, 2011); ante ello la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro (AGROCALIDAD) en 2013 expide el *Manual de procedimientos para la inspección y habilitación de mataderos con Resolución DAJ-2013b4-0201.0247*.

En el mismo año varios mataderos fueron clausurados debido a factores como: falta de infraestructura, tecnología y cultura de faenamiento, trato a los animales antes y durante el sacrificio, sanidad de las instalaciones de faena y el conocimiento de los operarios sobre los procedimientos a ejecutar (Gavilánez, Sánchez, Peñafiel, & Villalón, 2013).

Uno de los centros clausurados, en diciembre de 2013 (El Comercio, 2013), fue el Camal de la ciudad de Riobamba, lo que conllevó al municipio de la ciudad a invertir en infraestructura para el faenamiento. La inversión, centrada en instalaciones con material anticorrosivo, sistema séptico mejorado, adiestramiento y capacitación de personal para cumplir con las normativas del Ministerio de Salud (MSP), AGROCALIDAD y el Ministerio del Ambiente (MAE), permitió la reapertura en octubre de 2014 (Redacción Radio Mundial, 2014). Estas mejoras realizadas en las instalaciones de sacrificio de animales en el país, hacen necesario trabajar en las siguientes etapas: comercialización y la manipulación de las carnes por parte del consumidor.

De allí la importancia de estudiar la percepción, hábitos y conocimientos de la ciudadanía acerca del consumo de carne en la ciudad de Riobamba, utilizando análisis descriptivo e implicativo para procesar la información, y generar conocimiento que oriente la toma de decisiones para proyectos que promuevan una cultura sanitaria y de consumo saludable.

8. Materiales y métodos.

En julio de 2015 se aplicó una encuesta, previamente validada, para determinar la percepción de los consumidores en la ciudad de Riobamba acerca de la adquisición e ingesta de carne.

Se incluyeron variables de estudio relacionadas al conocimiento, hábitos y actitudes en un cuestionario de 28 preguntas tanto abiertas como cerradas. Se tomó como base el instrumento del Observatorio de Consumo y Distribución Alimentaria del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España en el año 2009 (Instituto CERDÁ, 2009).

Para el tamaño de muestra probabilística se usó la fórmula para poblaciones infinitas con un 5% de error y un 95% de confiabilidad (Quevedo, 2011), los criterios de inclusión para los informantes fueron: habitantes de las parroquias urbanas de la ciudad, mayores de edad, de ambos sexos y que participaran voluntariamente en la investigación (Pita & Pértega, 2001).

La logística del trabajo determinó diseminar encuestadores en diferentes barrios y mercados de la ciudad, después de analizar el número de encuestas completadas se comprobó una participación mayor a la esperada y se trabajó con las respuestas de 1067 habitantes (Sociedad Española de Investigación en Educación Matemática (SEIEM), 2011).

Los datos fueron procesados mediante estadística descriptiva, para identificar las tendencias en el consumo de carne (Orellana, 2001), seguido de un análisis implicative, elegido por su capacidad para determinar relaciones de cuasi implicación entre las respuestas a las variables analizadas, relaciones que incluso pueden, en algunos casos, considerarse causales (Mederos, Zamora Matamoros, & Sagaró del Campo, 2015) o pronósticas (Moraga Rodríguez, 2017).

El análisis descriptivo se efectuó con Excel y SPSS versión 18, y para el análisis implicative se utilizó el programa CHIC (Classification Hiérarchique Implicative et Chohésitive), versión 6.0. (Couturier, 2008)

9. Resultados.

9.1. Análisis descriptivo:

La población encuestada corresponde en un 54% al género femenino y en 46% al género masculino, en relación a la edad las personas que contestaron entre los 18 y 72 años, encontrándose que el 53,2% de la población tiene edades entre 18 y 29 años, el 38,2% se encuentra entre los 30 y 49 años, el 6,9% se halla en edades entre los 50 y 75 años, un 1,6% de la población, no respondió a la interrogante, como se muestra en la figura 1.

De acuerdo al sector de la ciudad en que habitaba el 31% residía en la parroquia Lizarzaburu, 17% en la Maldonado, 17,4% en la Velasco, 18% en la Veloz y 13,1% tenía su residencia habitual en la parroquia Yaruquies, el porcentaje restante no contesta la interrogante.

Al interrogar al grupo sobre la instrucción que tenían se conoció que el 48,7% tiene instrucción superior, 29,5% secundaria, 9% primaria, 8,5% Incompleta, 1,8% declara tener otro tipo de instrucción y 2,4% no responde a la pregunta.

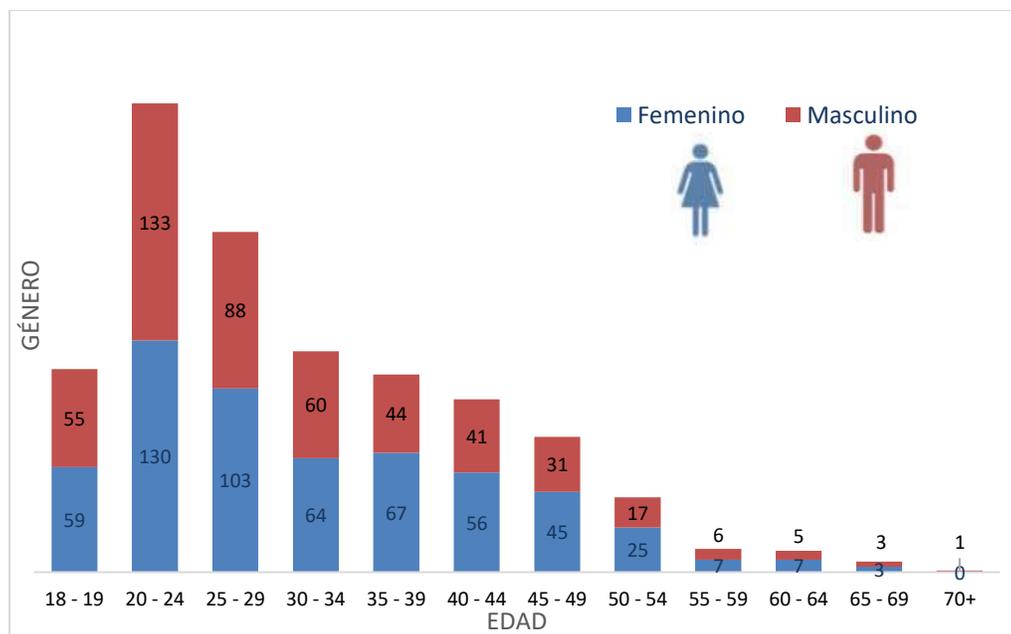


Figura 10. Género y edad de personas encuestadas sobre el consumo de carne en Riobamba, año 2015.

Al consultar sobre las razones por las que consumen carne los pobladores se obtuvieron las siguientes respuestas 46,8% porque le gusta, 22,7% por lograr una dieta equilibrada, 20,6% por sus características nutricionales, 4,9% porque lo aconsejan los médicos, 4,2% responden por varias razones y otros, 0,8% no contesta; la gente que contestó otros dice que la consume por costumbre o por sus hijos. 39,6% la consume entre 2 y 3 veces por semana, 18,2% entre 4 y 5 veces por semana, 11,6% diariamente, 15,6% cada quince días, 11,5% una vez al mes, 1,1% no consume carne es vegetariana y 2,4% no consume carne, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Razones de consumo y Frecuencia de consumo

Razones de consumo	Frecuencia de consumo							Total
	No contesta	2 o 3 veces x semana	4 o 5 veces x semana	Diariamente	1 vez al mes	Cada 15 días	No consume carne	
Porque le gusta	13	202	105	76	34	68	1	499

Por sus características nutricionales	4	93	38	24	31	48	4	242
Por tener una dieta equilibrada	1	99	28	14	46	32	0	220
Porque lo recomiendan los médicos	2	15	12	1	8	10	4	52
Dos de las opciones planteadas	2	10	8	6	3	5	1	35
Tres de las opciones planteadas	0	1	3	1	0	1	0	6
Otras	1	1	0	1	0	1	0	4
No contesta	3	1	0	1	1	1	2	9
Total	26	422	194	124	123	166	12	1067

Fuente: Encuesta consumo carne Riobamba 2015. Elaboración: Grupo de Investigación Percepciones

En relación al consumo de carne, se muestra una preferencia marcada por el pollo 26,87%, res 19,09%, pescado 18,29%, cerdo 12,50%, cuyes 7,56%, ovejas 5,84%, conejo 5,42%, cabras 3,33%, otras (pavo, mariscos, avestruz, caza, etc.) 1,07 %, como se muestra en la figura 2, el creciente consumo de carnes blancas que se observa puede atribuirse a las características nutricionales y los requerimientos de una dieta equilibrada.

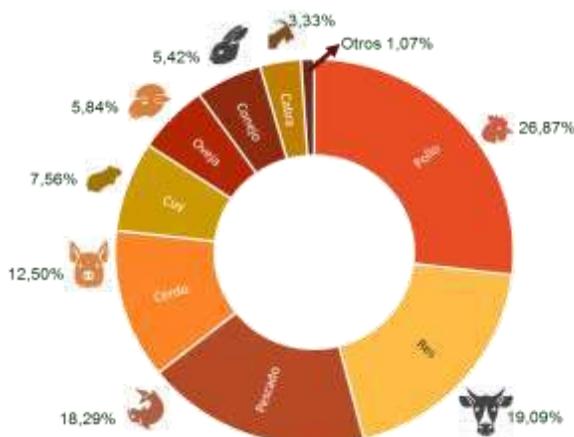


Figura 2. Preferencias del consumo de carne en la ciudad de Riobamba, año 2015.

El 61,1% de la población en la ciudad no conoce la procedencia de la carne que consume, frente a un 36,4% que asegura conocerlo, el 35,1% de los consumidores opina que la carne es buena, el 52,0% que es regular y el 9,7% dice que es mala. El 52,5% de los consumidores opina que la carne es cara en la ciudad, 38,1% asegura que su precio es regular, 3,9% dice que su precio es bajo. Adicionalmente, en relación al precio la población opina en un 31,5% que éste depende del lugar donde se compre, 28,2% de la calidad de la carne, 17,2% de la procedencia del animal, 13,1% del aspecto y peso del animal, el porcentaje restante asegura que depende de varias razones o no contesta. El 67,7% de los encuestados consideraron que

la carne tuvo una subida en su precio desde que el camal cerró sus puertas en 2014, 60,1% afirma que la reapertura del camal asegura la calidad de la carne que se vende en la ciudad.

El 61,5% de las personas consultadas no conocen los aspectos regulatorios de la venta de carne, 11% asegura haber comprado carne de un camal clandestino, 37,3% dice haber comprado carne en mal estado, 38,4% asevera que se ha enfermado por consumir carne no apta para a ingesta, el 21,5% de las personas que dijeron haberse enfermado compraron carne en mal estado, 46,57% conoce algo sobre las posibles enfermedades asociadas al consumo de la carne en mal estado, el 8,43% de los encuestados que se enfermaron por haber consumido carne en mal estado asegura desconocer las enfermedades asociadas, en la tabla 2, se puede observar el número de personas que reportaron comprar y consumir carne en mal estado.

Tabla 2. Frecuencia de respuestas sobre compra y consumo de carne en mal estado

¿Alguna vez ha comprado carne en mal estado?	¿Alguna vez se ha enfermado por consumir carne en mal estado?			Total
	No contesta	Sí	No	
No contesta	18	8	15	41
Sí	9	230	159	398
No	7	172	449	628
Total	34	410	623	1067

Fuente: Encuesta consumo carne Riobamba 2015. Elaboración: Grupo de Investigación Percepciones - Biosegal.

9.2. Análisis implicativo:

Relaciones de similaridad.

En análisis implicativo se considera “similaridad” o “proximidad” a la correspondencia o semejanza entre los objetos (Zamora, Gregori, & Orús, 2009). Esto significa que las respuestas con mayor índice de similaridad son más parecidos entre sí que aquellas que tienen índices menores, por lo que se reunirán en un mismo grupo.

Excluyendo las variables de tipo de carne y a los individuos que no saben o no contestan las preguntas del cuestionario, se identificaron las siguientes similaridades significativas:

1. Personas en edad adulta media (41 a 60 años, EdA) son similares a las personas con nivel educativo primario (EduP)
2. Personas que dan importancia al precio de la carne (ImpPR) son similares a las que dan importancia a su aspecto (ImpAS); a su vez, quienes dan importancia al precio y al aspecto son similares a quienes dan importancia a la presencia del sello de calidad (ImpSC). Finalmente, las personas que dan importancia al conjunto de precio, aspecto y

sello de calidad, son similares a las que otorgan importancia a la limpieza del lugar de expendio (ImpLL).

3. Quienes adquieren carne una vez al mes (FreM) son similares aquellos que indican no conocer la normativa de expendio de carne (RegNC); además, el conjunto de quienes compran carne una vez al mes y no conocen la normativa son similares a aquellos que consideran que consumen carne de buena calidad.
4. Las personas con estas tres características arriba anotadas: comprar una vez al mes, no conocer la normativa y considerar que consumen carne de buena calidad, son similares a aquellos que comen carne motivados por tener una dieta equilibrada.

Estos resultados se aprecian visualmente mediante el “árbol de similaridad” que consta en la Figura 3..

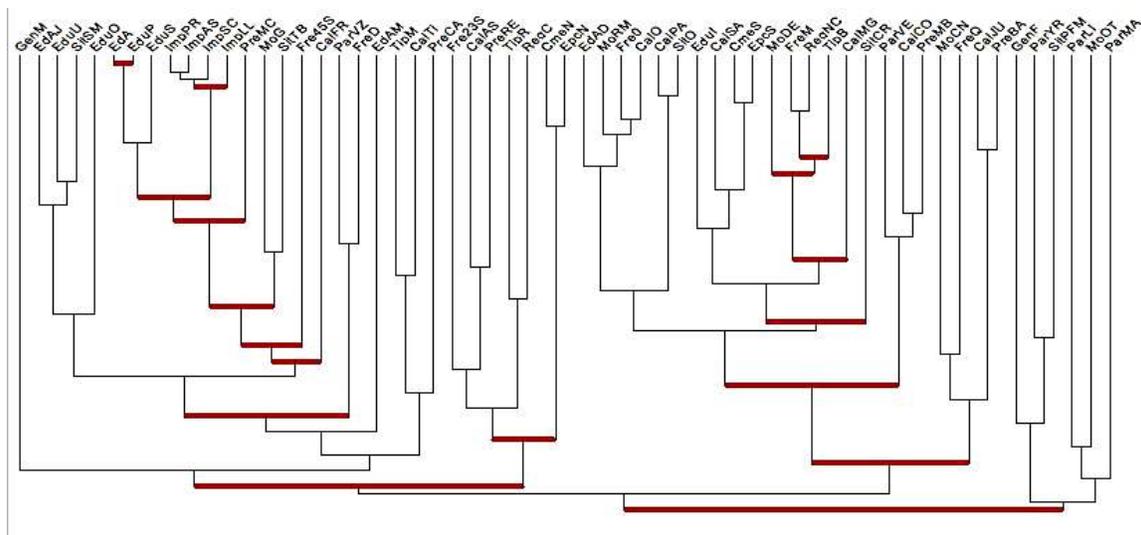


Figura 3. Árbol de Similaridad, resaltados los nodos con similitudes más significativas.

Relaciones de cuasi-implicación.

En el análisis implicativo se identifican relaciones entre variables del tipo “meta reglas”; es decir, relaciones antecedente-consecuente que tienen tolerancia a la existencia de contraejemplos o excepciones, también denominadas “cuasi implicaciones”. Lo anterior se cuantifica mediante el índice de implicación, comprendido entre cero y uno, que ofrece una medida de la pequeñez de los contraejemplos frente al total de las instancias donde se cumple la implicación (Zamora, Gregori, & Orús, 2009).

Las cuasi implicaciones con un valor igual o superior a 0,9999 son:

1. Si la persona tiene educación superior (EduU), entonces es un adulto comprendido entre los 20 y 40 años (EdAJ)
2. Si la persona no ha sufrido una enfermedad causada por el consumo de carne en mal estado (EpcN), entonces no ha consumido carne en mal estado (CmeN)
3. Si la persona no ha indicado algún criterio que considere relacionado a la calidad (CalNSNC), entonces no indica tener un criterio respecto al precio de la carne (PreNSNC)

4. Si la persona indica haber consumido carne en mal estado (CmeS), entonces indica haber sufrido una enfermedad por consumo de carne en mal estado (EpcS)
5. Si la persona consume carne de porcino (CarPR), entonces consume también carne de bovino (CarBV); en cuyo caso también da importancia al precio (ImpPR)
6. Si a la persona le importa el sello de calidad (ImpSC), entonces da importancia al aspecto de la carne (ImpAS); en cuyo caso también da importancia al precio (ImpPR)
7. Si la persona consume carne de cabra (CarCB), entonces consumirá carne de ovino (CarOV); adicionalmente, consumirá carne de pescado.
8. Por otro lado, la persona que consume carne de cabra (CarCB), consumirá carne de conejo (CarCN); entonces también consume carne de cuy (CarCY) y, adicionalmente, consumirá carne de pescado
9. Las personas de las cuasi implicaciones en los numerales 7 y 8, consumirán carne de pollo (CarPO) y entonces considerarán importante la limpieza del local (ImpLL)

En la figura 4 se muestra el grafo de implicaciones con aquellas con coeficiente mayor a 0,9999

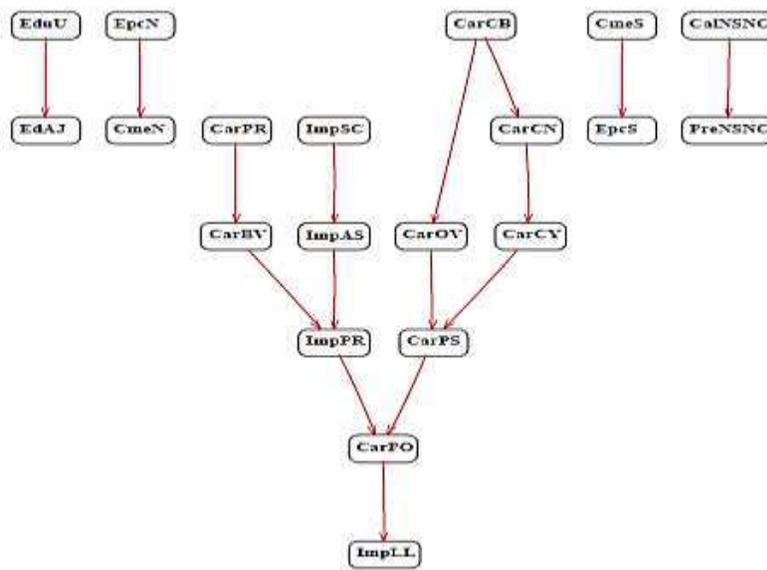


Figura 4. Grafo de implicaciones con coeficiente igual o mayor a 0,9999

Grado de cohesión.

La cohesión da una medida de la calidad implicativa de las reglas encontradas; es decir, permite identificar cuáles de las cuasi implicaciones tienen una relación que va más allá de lo meramente aleatorio (Zamora, Gregori, & Orús, 2009).

Las implicaciones con máximo grado de cohesión son las siguientes:

1. Personas con educación superior (EduU) corresponden a adultos jóvenes (EdAJ)
2. Personas que consumen carne de porcino (CarPR), consumirán carne de bovino (CarBV) y entonces también carne de pollo (CarPO)
3. Quienes consumen carne de cuy (CarCY), consumirán carne de conejo (CarCN)
4. Gente que da importancia al precio (ImpPR) y al aspecto de la carne (ImpAS), da importancia al sello de calidad (ImpSC), por lo que dará importancia a la limpieza del local (ImpLL)
5. Quienes consumen carne de cabra (CarCB), entonces consumirán carne de ovino (CarOV) y consecuentemente carne de pescado (CarPS)
6. Personas que no saben o contestan acerca del lugar donde adquieren carne (SitNSNC), no contestarán si sufrieron alguna enfermedad relacionada por consumir carne en mal estado (EpcNSNC); en este caso, no indicarán si conocen la reglamentación para expendio de carne (RegNSNC)

Las relaciones con mayor cohesión se visualizan mediante el grafo de cohesión, en la figura 5.

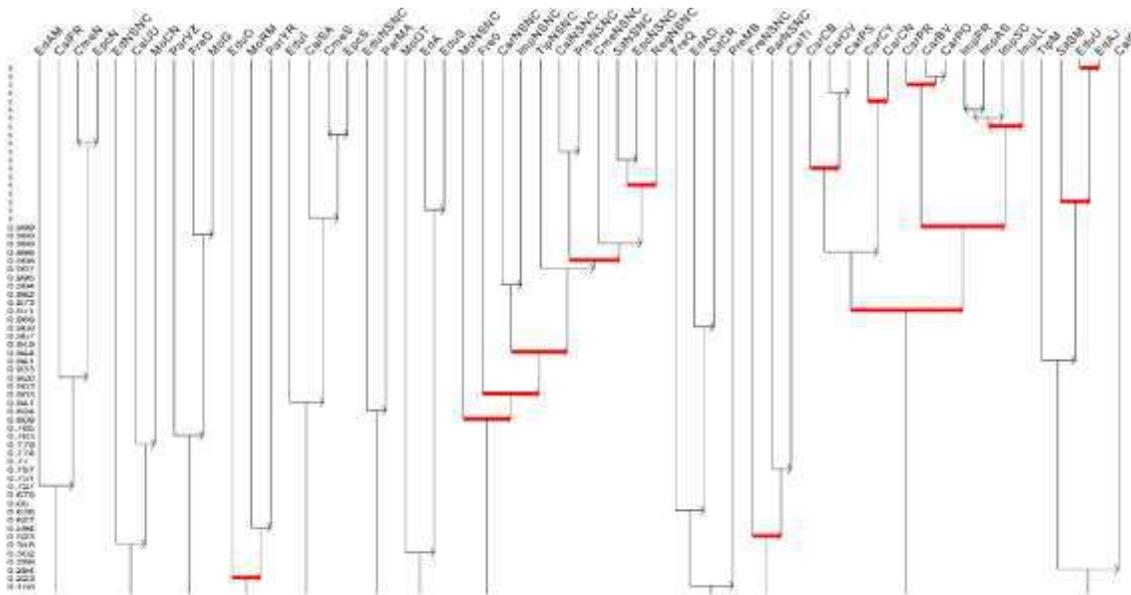


Figura 5. Grafo de cohesión, resaltado en rojo las cohesiones más significativas

10. Discusión.

El consumo de carne en los pobladores en la ciudad se debe principalmente al gusto y por lograr una dieta equilibrada, lo que es consistente con los resultados de la encuesta del Observatorio de Consumo y Distribución Alimentaria para consumidores de carne que determina que los motivos principales de consumo de proteína animal son el sabor y mantener una dieta equilibrada (Instituto CERDÁ, 2009).

En relación a la preferencia del consumo de carne, se muestra una predilección marcada por el pollo, res, pescado y cerdo -en ese orden-. El creciente consumo de carnes blancas es concordante tanto con los motivos de consumo así como con el crecimiento del mercado avícola en Ecuador en la última década (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGAP), 2013), y con las proyecciones realizadas en 2015 de los sectores avícolas y pesqueros del país, que preveían una reducción del 10% del consumo de carnes rojas y una migración de las carnes blancas, a raíz de un reporte de la Organización Mundial de la Salud (OMS), que advertía a los consumidores de carnes rojas y cárnicos procesados sobre efectos cancerígenos por ingesta (El Universo, 2015). En 2016, tras una encuesta aplicada en España por el III Observatorio de Nestlé sobre hábitos nutricionales, se estimó que aproximadamente 11 millones de personas declararon haber reducido el consumo de carnes rojas y 14% afirmó no consumir carnes rojas durante el último año, esta tendencia es más generalizada para mujeres (NESTLE, 2016).

De igual manera en la preferencia de consumo, que corresponde a la carne de pollo, seguida por la de res y la de pescado. Estos valores podrían guardar relación con los costos de estos tipos de carnes, siendo la más asequible la de pollo. El estudio de termina que el 52,5% de los consumidores opina que la carne es cara en la ciudad, lo que resulta similar a lo reportado por el observatorio de consumo de carnes que determina que el precio de la carne es cara para la percepción del consumidor (Instituto CERDÁ, 2009). La frecuencia de consumo es mayoritariamente entre 2 y 3 veces por semana, seguido por 4 a 5 veces semanales. Esto guardaría relación con la preferencia hacia la carne de pollo, puesto que esta es conocida como una carne “más sana” (segunda mayor razón de consumo).

El uso de análisis implicativo en el presente estudio amplió la comprensión de los resultados al develar relaciones de implicación. En algunos casos se verificaron a nivel estadístico reglas que pueden considerarse obvias: “*Si la persona no ha sufrido una enfermedad causada por el consumo de carne en mal estado, entonces no ha consumido carne en mal estado*” o “*si la persona indica haber consumido carne en mal estado, entonces indica haber sufrido una enfermedad por consumo de carne en mal estado*”, no obstante, confirman la credibilidad de las respuestas. Otras cuasi implicaciones encontradas señalan relaciones de interés para la toma de decisiones: “Si la persona no ha indicado algún criterio que relacione a calidad, entonces no indica tener un criterio respecto al precio de la carne” señala a la difusión y educación de los consumidores respecto a los factores de calidad de la carne como prioritario para que éstos puedan ponderar y exigir esta calidad en la compra. La quinta implicación deja en evidencia que, a medida que la gente consume más variedades de carne, van dando mayor importancia al factor precio. Las implicaciones quinta, sexta y séptima identificaron una secuencia de incorporación de tipos de carne a la dieta: pollo, luego bovino (análisis descriptivo), luego porcino, cabra, oveja y pescado (implicativo). Según la implicación octava, existen también casos donde se incluyen carne de conejo y luego de la carne ovina y previamente a la de pescado. Esta secuencia coincide con la determinada en un

estudio realizado aplicado a los expendedores de carne de la misma localidad (Ramos-Flores, y otros, 2015).

Adicionalmente, el análisis implicativo permitió contextualizar mejor los resultados de la estadística descriptiva (Orús, Zamora, & Gregori, 2009) y confirmar su capacidad de generar una visión más intuitiva de la información y sus relaciones internas (Coutourier & Pazmiño, 2016) así como identificar factores críticos y su influencia sobre otros (Mederos, Zamora Matamoros, & Sagaró del Campo, 2015), o incluso factores que podrían considerarse pronósticos (Moraga Rodríguez, 2017). Por ejemplo, el alto porcentaje de personas que indicaron desconocer tanto la procedencia de la carne como las normativas que regulan su procesamiento y comercialización, mediante el análisis implicativo se determinó que está vinculado a quienes contestaron que consumían carne en menor frecuencia.

La cuasi implicación: *“Personas que dan importancia al precio de la carne son similares a las que dan importancia a su aspecto; a su vez, quienes dan importancia al precio y al aspecto son similares a quienes dan importancia a la presencia del sello de calidad”* y *“Las personas que dan importancia al conjunto de precio, aspecto y sello de calidad, son similares a las que otorgan importancia a la limpieza del lugar de expendio”* presentan alta cohesión, que indica que las personas que observan la calidad del producto a través de aspectos sensoriales, en su requerimiento de calidad observan también las condiciones del lugar de expendio.

Este comportamiento, aunque no representa al total de la población ofrece una guía respecto a la secuencia de los factores que consideran los consumidores a medida que van desarrollando su percepción de calidad.

La importancia que los consumidores de Riobamba dan a la higiene del local difiere respecto a lo encontrado en un estudio similar llevado a cabo por el Instituto Cerdá, donde los factores más considerados son la confianza en el vendedor y la calidad de los productos (Instituto CERDÁ, 2009)

Conclusiones.

- El trabajo realizado proporcionó características puntuales sobre datos sociodemográficos y la percepción de los habitantes en relación a diferentes aspectos del consumo de carne, obteniendo información en función de variables cualitativas y cuantitativas.

- La estadística descriptiva permitió obtener perfiles generales de la población que consume carne, sus tipos de carne preferidos, razones de consumo, frecuencia de consumo, y frecuencia de casos de consumo de producto no adecuado.
- La incorporación de análisis implicative, identificó relaciones de implicación entre respuestas de las variables, evidenciando su potencialidad como herramienta de apoyo para la toma de decisiones. El análisis implicative además permitió una contextualización de las generalizaciones del análisis descriptivo.
- Los hallazgos de la investigación señalan la necesidad de la capacitación de los consumidores respecto a los aspectos relacionados a la calidad de la carne. Hacia los expendedores, se hace necesario enfatizar el aseo del local, la información de la procedencia y los sellos de calidad del producto, como factores interpretados por el consumidor por afines a la calidad.
- Finalmente, las similitudes e implicaciones encontradas, contienen información importante para diseñar campañas de educación al consumidor y mejora en los servicios brindados por los expendedores, siendo fuentes de datos valiosos para organismos de control, así como nuevos emprendimientos en el área.

Referencias bibliográficas.

- biesalski, h. (2006). Meat as a component of a healthy diet – are there any risk or benefits if meat is avoided in the diet? *Recent advances in animal nutrition*, 117 - 151.
- Calero león, c. (2011). *Seguridad alimentaria en ecuador desde un enfoque de acceso a alimentos*. Quito: flacso. Retrieved from <http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/52065.pdf>
- Camacho, j. (2003). *Aplicaciones estadísticas en las ciencias sociales*. Retrieved 09 12, 2018, from aplicaciones estadísticas en las ciencias sociales: <https://imarrero.webs.ull.es/sctm03.v2/modulo1/jcamacho.pdf>
- Coutourier, r., & pazmiño, r. (2016). Use of statistical implicative analysis in complement of item analysis. *International journal of information and education technology*, 6(1), 39.
- Couturier, r. (2008). Chic: cohesive hierarchical implicative classification. In r. Gras, e. Susuki, & f. Spagnolo (eds.), *statistical implicative analysis*. Berlin: springer.
- Delgado, h., cedeño, c., montes de ocaii, n., & villochii, a. (2015). Calidad higiénica de la carne obtenida en mataderos de manabí- ecuador. *Salud animal*, 1-9.
- El comercio. (2013, diciembre 5). Agrocalidad clausuró el camal municipal de riobamba.

- El universo. (2015, 10 28). Por alerta en carne roja, sectores prevén cambios en consumo. Quito, Ecuador.
- Gaviláñez, e., sánchez, g., peñañiel, s., & villalón, p. (2013). *Proyecto planta de beneficio animal*. Epoch.
- Gras, r., susuki, e., & guillet, f. (2008). *Statistical implicative analysis theory and applications*. Springer.
- Graz, r., & kuntz, p. (2009). El análisis estadístico implicativo (asi) en respuesta a problemas que le dieron origen. In varios, *teoría y aplicaciones del análisis estadístico implicativo: primera aproximación en lengua hispana*. Castellón: universitat jaume i.
- Instituto cerdá. (2009). *Estudio de mercado observatorio del consumo y la distribución alimentaria*. Barcelona: ministerio de medio ambiente y medio rural y marino.
- Mederos, y., zamora matamoros, l., & sagaró del campo, n. (2015). Análisis estadístico implicativo en la identificación de factores de riesgo en pacientes con cáncer de pulmón. *Medisan*, 19(08), 947-957.
- Ministerio de agricultura, ganadería y pesca (magap). (2013). *Estudio de cadenas pecuarias de Ecuador*. Quito: magap.
- Moraga rodríguez, a. (2017). Análisis estadístico implicativo para la identificación de factores pronósticos de la mortalidad por cáncer de mama. *Medisan*, 21(4), 395-406.
- Nestle. (2016). *Iii observatorio nestlé sobre hábitos nutricionales y estilos de vida de las familias*. Nestle & ipsos, departamento de investigación de mercados de nestle & instituto ipsos, barcelona.
- Orellana, l. (2001). *Estadística descriptiva* (1 ed.). (u. D. Aires, ed.) Buenos aires: uba.
- Organización de las naciones unidas para la alimentación y agricultura. (2015). *Perspectivas alimentarias análisis de mercado mundial*. Roma: fao.
- Orús, p., zamora, l., & gregori, p. (2009). *Teoría y aplicaciones del análisis estadístico implicativo* (primera ed.). (s. Innovació digital castelló, ed.) Valencia: universitat jaume i de.
- Parra, j. M. (1995). *Estadística descriptiva e inferencial i*.
- Pineda, e. B., de alvarado, e. L., & de canales, f. H. (1994). *Metodología de la investigación: manual para el desarrollo de personal de salud*. Ops.
- Pita, s., & pérttega, s. (2001). *Metodología de investigación, estadística descriptiva de los datos*. Retrieved 09 05, 2018, from estadística descriptiva de los datos: <https://www.fisterra.com/formacion/metodologia-investigacion/estadistica-descriptiva-datos/>
- Quevedo, f. (2011, junio). Estadística aplicada a la investigación en salud. *Medware*, junio, 2011.

Ramos-flores, m., villalón-muñoz, p., brito-zúñiga, g., peñañiel-acost, s., chiluiza-ramos, p., argüello-hernández, p., & zabala-navarrete, c. (2015, 11). Conocimiento de los expendedores de carne sobre el faenamamiento y comercialización, a través de análisis implicativo y descriptivo. Estudio de caso camal riobamba-chimborazo-ecuador. *European scientific journal*, 11(32).

Redacción radio mundial. (2014, octubre). Municipio de riobamba realizará apertura del camal. Riobamba, ecuador.

Sistema de indicadores sociales de ecuador. (2009). *Introducción general - sissan*. Retrieved 2015, from <http://www.siise.gob.ec/>:
http://www.siise.gob.ec/siiseweb/pagewebs/sissan/macsan_introd.htm#soberan%c3%ada%20alimentaria

Sociedad española de investigación en educación matemática (seiem). (2011). *Investigación en educación en matemática*. Memoria de evento, sociedad española de investigación en educación matemática (seiem), ciudad real.

Zamora, l., gregori, p., & orús, p. (2009). Conceptos fundamentales del análisis estadístico implicativo (asi) y su soporte computacional chic. In varios, *teoría y aplicaciones del análisis estadístico implicativo: primera aproximación en lengua hispana*. Castellón: universitat jaume i.



Para citar el artículo indexado.

Villalón-Muñoz, P., Ramos-Flores, M., De la Bastida-Guerra, E., Argüello-Hernández, P.,

Peñañiel-Acosta, S., López-Salazar, J., Brito-Zúñiga, G. (2018). Uso de la estadística y análisis implicative para medir la percepción de conocimientos, hábitos y actitudes en consumidores de carne de la ciudad de Riobamba. *Revista electrónica Ciencia Digital* 2(4), 94-110. Recuperado desde:
<http://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/view/192/170>



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Ciencia Digital**.

El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Ciencia Digital**.



Factores que influyen en la producción del plátano en el Ecuador, 2014-2016.



Factors that influence the production of bananas in Ecuador, 2014-2016.

Segundo Eduardo Guamán Daquilema.²², Amalia Isabel Escudero Villa.²³

Recibido: 10-07-2017 / Revisado: 09-09-2018 Aceptado: 17-10-2018/ Publicado: 01-11-2018

Abstract.

DOI: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v2i4.1..193>

The objective of this study was to identify the factors that intervene in banana production in Ecuador based on the Survey of Surface and Production Continuous Agricultural (ESPAC) 2014-2016 using the Principal Component Analysis (PCA) techniques for quantitative variables and the Multiple Correspondence Analysis (MCA) for the qualitative variables, thus considering a study with a descriptive scope. The analysis of the secondary data obtained within the web page of the National Institute of Statistics and Census (INEC) was done in the free software R version 3.4.2. The ACP allowed to identify the first factor that influences the banana production that was named as "surface" and is made up of the variables: planted area, surface in productive age, harvest area and sales. Finally, the MCA that helped to identify the second factor that influences the banana production named "use and care" is made up of the following variables: use of phytosanitary products, use of chemical fertilizer and use of chemical pesticide, but the variable use of Chemical fertilizer has a low influence on banana production due to its low correlation, low representation and low contribution with respect to the second dimension of the MCA. These results agree with the research carried out by Guamán using the Mixed Data Factor Analysis (FAMD) technique.

Keywords: Factorial Analysis of Mixed Data (AFDM); Banana (*Musa AAB*); Principal Components Analysis (PCA); Multiple Correspondence Analysis (MCA); Statistics.

Resumen.

El presente estudio tuvo como objetivo identificar los factores que intervienen en la producción del plátano en el Ecuador con base a la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2014-2016 mediante técnicas del Análisis de Componentes Principales (ACP) para las variables cuantitativas y el Análisis de Correspondencias Múltiples (ACM) para las variables cualitativas, así considerando un estudio de alcance descriptivo. El análisis de los datos secundarios obtenidas dentro de la página web del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) se realizó en el

²² Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Carrera de Ingeniería en Estadística Informática, Riobamba, Ecuador, guamandseduardo@gmail.com

²³ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Carrera de Ingeniería en Estadística Informática, Riobamba, Ecuador, amalia.escudero@epoch.edu.ec

software libre R versión 3.4.2. El ACP permitió identificar el primer factor que influye en la producción del plátano que fue nombrada como “superficie” y está formada por las variables: superficie plantada, superficie en edad productiva, superficie cosecha y ventas. Finalmente, el ACM que ayudó a identificar el segundo factor que influye en la producción del plátano nombrada como “uso y cuidado” está formada por las variables: uso de fitosanitarios, uso de fertilizante químico y uso de plaguicida químico, pero la variable uso de fertilizante químico tiene una baja influencia en la producción del plátano por su baja correlación, baja representación y baja contribución con respecto a la segunda dimensión del ACM. Dichos resultados concuerdan con la investigación realizada por Guamán utilizando la técnica del Análisis Factorial de Datos Mixtos (AFDM).

Palabras Claves: Análisis de Componentes Principales (ACP); Análisis de Correspondencias Múltiples (ACM); Análisis Factorial de Datos Mixtos (AFDM). Estadística; Plátano (Musa AAB).

Introducción .

El plátano es uno de los alimentos básicos de la dieta de la población ecuatoriana, especialmente del litoral y oriente. Desde el punto de vista socioeconómico este rubro es el componente de la mayoría de los sistemas productivos, siendo la principal fuente de ingreso y de empleo para miles de ecuatorianos (Orellana, Unda, y Analuisa, 2002). El plátano (Musa AAB) en Ecuador es considerado un cultivo de creciente importancia socioeconómica, pues este país ocupa el cuarto lugar como productor de esta fruta a nivel mundial, con una producción anual de 7 931 000 toneladas (La Fundación PRODUCE de Guerrero, citado en Armendáriz et al., 2016). Según el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) (citado en Ulloa, Wolf, y Armendáriz, 2017) y el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) (citado en INIAP), el plátano (Musa paradisiaca (L.) AAB) y (Musa AAB) respectivamente, representan un sector importante para la economía y la seguridad alimentaria de Ecuador, puesto que genera fuentes estables y transitorias de trabajo, además de proveer permanentemente alimentos ricos en energía a la mayoría de la población campesina.

Ecuador exporta una gran cantidad de productos a varios países del mundo, el plátano es el segundo producto más exportado después del petróleo.

La producción de plátano en el Ecuador en el año 2014 incrementó en 27.36% con respecto al año 2013 (SINAGAP, 2014). En el año 2015 disminuyó en 11% respecto al año 2014 y debido a esto, las exportaciones también descendieron en 2% (SINAGAP, 2015). Durante el periodo 2016 la producción presenta un decremento de 10% respecto al año 2015 y las exportaciones también descendieron en 2%. Sin embargo, Ecuador se mantiene entre los principales exportadores de este producto a nivel mundial (SINAGAP, 2016).

Las técnicas estadística son de importancia al estudiar la producción de plátano, así lo muestran los trabajos: “Análisis estadístico de los factores que afectan en la producción de plátano en el distrito de Gamo Gofa, sur de Etiopía”, estudiado por Mamuye en donde utilizó principalmente el análisis de regresión múltiple de la función de producción de Cobb-Douglas con la técnica de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) a partir de la transformación logarítmica obteniendo que la edad de las plantas del plátano, el tamaño de la familia, la edad de los agricultores y la cantidad de mano de obra que se usa para la granja bananera resultaron ser predictoras estadísticamente significativos de la producción de plátano en la región (Mamuye, 2016), “Estudio empírico sobre los factores que afectan la productividad del banano desde la perspectiva de género: un caso de Matombo SACCO en Tanzania” estudiado por Chrisostom en donde de la misma manera utilizó la regresión múltiple mostrando que la edad, la educación, los servicios de extensión y el crédito agrícola de los SACCOs fueron altamente significativos desde el punto de vista estadístico, lo que implica una influencia positiva en la productividad del banano tanto para los miembros masculinos como femeninos (Chrisostom et al., 2017). Finalmente, Guamán (2018) estudió el tema “Análisis estadístico multivariante para el estudio de los factores que influyen en la producción del plátano en el Ecuador, periodo 2014-2016” en donde utilizó las técnicas del análisis factorial de datos mixtos y el análisis de regresión lineal múltiple con variables dummy obteniendo como resultados importantes con la primera técnica que los dos factores: “superficie” y “uso y cuidado” influyen en la producción del plátano, con respecto a la segunda técnica una de las variables del factor “uso y cuidado” no influyó en la variable dependiente producción del plátano.

Materiales y métodos.

El presente estudio se basa en un análisis descriptivo multivariante, y permite identificar los factores que influyen en la producción del plátano en el Ecuador con base a la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2014-2016.

El análisis factorial de datos mixtos (AFDM) es un método de componentes principales dedicado a analizar un conjunto de datos que contiene variables tanto cuantitativas como cualitativas (Pagès, 2004). Además, se puede explorar la asociación entre todas las variables, tanto cuantitativas como cualitativas. En términos generales, el algoritmo ADFM es una mezcla entre el análisis del componente principal (ACP) y el análisis de correspondencias múltiples (ACM) (Kassambara, 2017). El AFDM conjuga las técnicas ACP y ACM, ampliamente usadas en estudios de variabilidad genética (Franco & Hidalgo, 2003). Por esta razón se analiza el problema con dos técnicas separadas como es el ACP para variables cuantitativas y el ACM para variables cualitativas con el objetivo de llegar a la misma conclusión que consistía en identificar los factores que influyen en la producción del plátano obtenida con el AFDM. Se trabajó en el software estadístico R versión 3.4.2 que provee una amplia variedad de técnicas univariantes y multivariantes.

Las variables se constituyen (variables con datos completos) y consideradas por la ESPAC en total 20 variables, de las cuales 10 son numéricas y 10 categóricas. Pero es importante señalar que 6 variables (5 cuantitativas y 1 cualitativa) no se ingresaron al análisis debido a que una de ellas es la variable respuesta y el resto comparten información con otras variables. De este modo se deben obtener resultados para 14 variables.

Variables cuantitativas: Edad de la plantación en años (X2), superficie plantada en hectáreas (X3), superficie en edad productiva medida en hectáreas (X4), superficie cosecha en hectáreas (X5) y ventas en toneladas métricas (X10).

Variables cualitativas: Condición del cultivo (X11), semilla de más uso (X12), uso de riego (X13), uso de fitosanitarios (X15), uso de fertilizante orgánico (X16), uso de fertilizante químico (X17), uso de plaguicida orgánico (X18), uso de plaguicida químico (X19) y la participación provincial de la producción nacional (X20).

La muestra está basada en la metodología de la ESPAC, que utiliza el muestreo de marcos múltiples en donde esta es una combinación del marco de áreas y marco de lista, mismos que contienen los segmentos de muestreo que varía de acuerdo al estrato (Figura 1) y las principales explotaciones dedicadas a un determinado cultivo respectivamente.

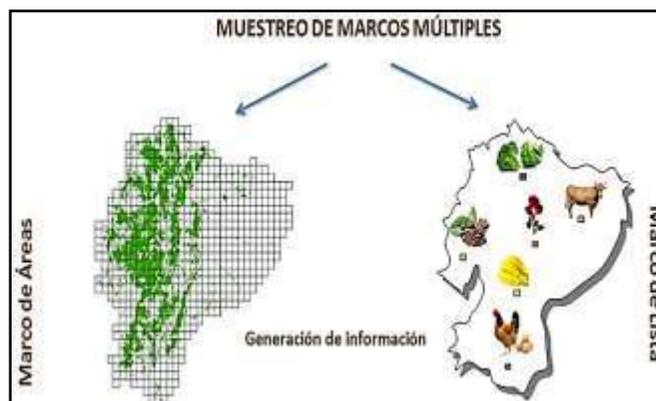


Figura 11. Metodología de la ESPAC, muestreo de marcos múltiples. Fuente: INEC, ESPAC.

Resultados.

En la técnica del ACP puesto que es un método descriptivo es importante analizar la máxima variabilidad explicada por las dimensiones. La primera componente explica el 73.4% de la variabilidad total, la segunda el 19.8% y las dos juntas explican el 93.27% (Figura 2).

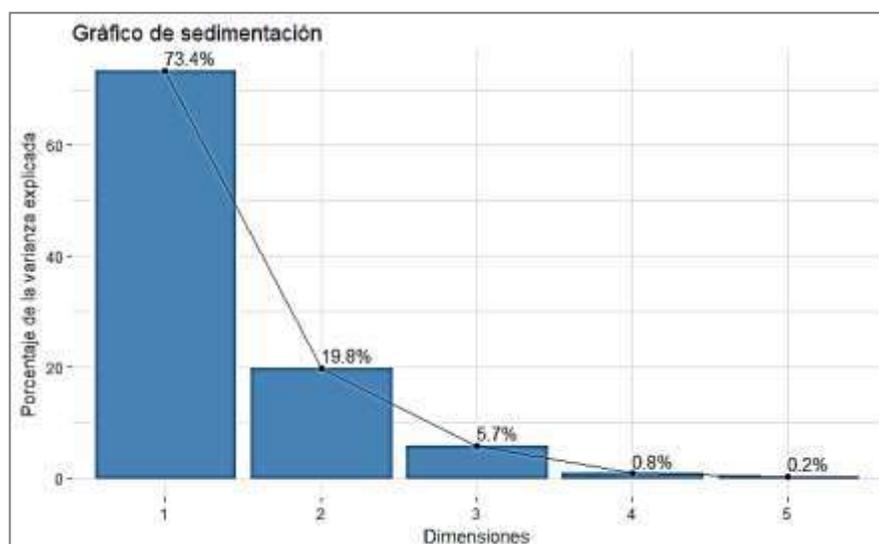


Figura 2. Sedimentación en el ACP.

Para analizar las variables cuantitativas con la técnica del ACP es importante saber que cuanto más cerca esté una variable del círculo de correlaciones, mejor será su correlación, su representación y su contribución en el mapa factorial (y más importante es interpretar estos componentes). Además, las variables que están cerradas o cercas al centro u origen de la gráfica son menos importantes para las componentes principales (Figura 3).

Las variables: superficie plantada, superficie en edad productiva, superficie cosecha y ventas están correlacionadas con la primera dimensión, mientras que la variable edad de la plantación está altamente correlacionada con segunda dimensión, además dichas variables están bien representadas y contribuyen en el plano factorial. Finalmente, las variables correlacionadas con la primera dimensión están agrupadas entre sí, esto indica que todas las variables están correlacionadas positivamente, así forman el primer factor que influye en la producción del plátano considerada como “superficie”, la única variable que está correlacionada con la segunda dimensión no está correlacionada con las variables de la primera dimensión por formar un ángulo aproximadamente de 45 grados, por lo tanto esta variable no viene a formar como un factor que influye en la producción del plátano (Figura Numero 3).

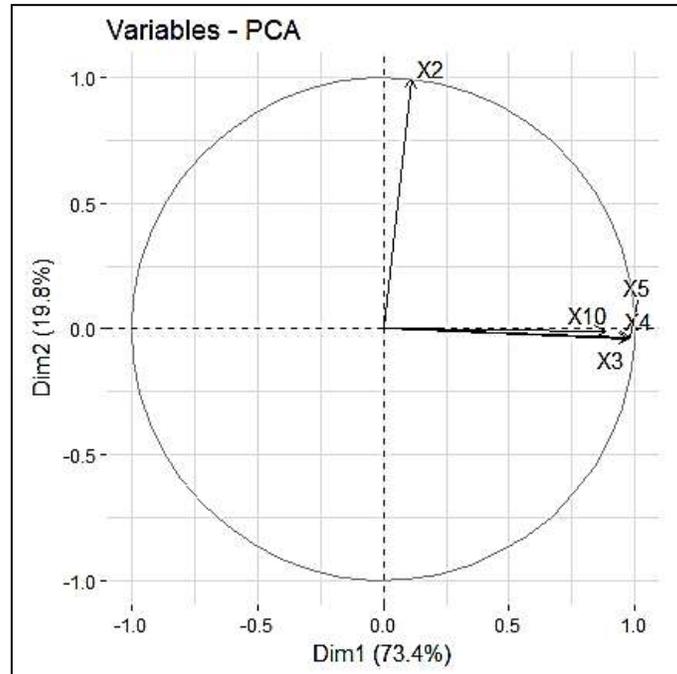


Figura 3. Círculo de correlaciones de las variables cuantitativas.

Al igual que para las variables cuantitativas se analiza las variables cualitativas con la técnica del ACM. Las variables que se encuentran cercas del origen se pueden eliminar porque no están bien representadas y no contribuyen significativamente en el plano factorial (Figura 4).

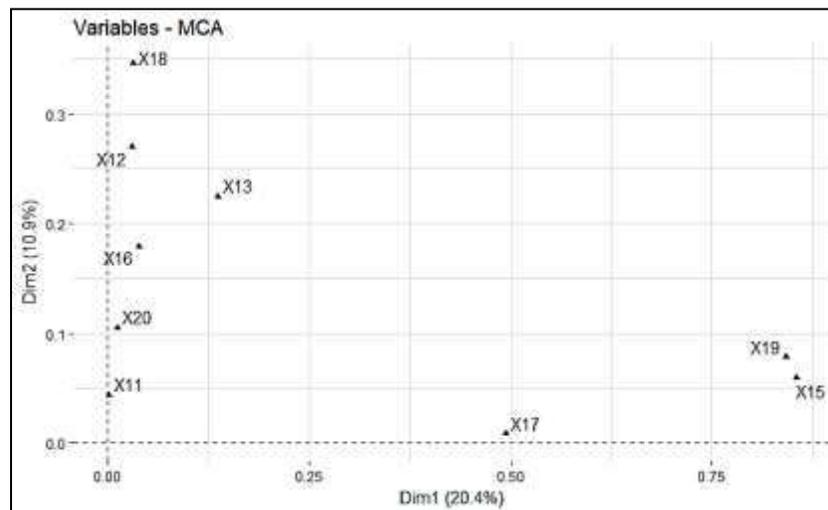


Figura 4. Representación de las variables cualitativas en el mapa factorial del primer ACM.

Eliminando algunas variables de la Figura 4 que no se encuentran bien se representadas y aquellas que no contribuyen a las dimensiones se obtiene que la primera dimensión explica el 59.9%, la segunda el 24.9% y las dos juntas el 82.72% de la variabilidad total (Figura 5).

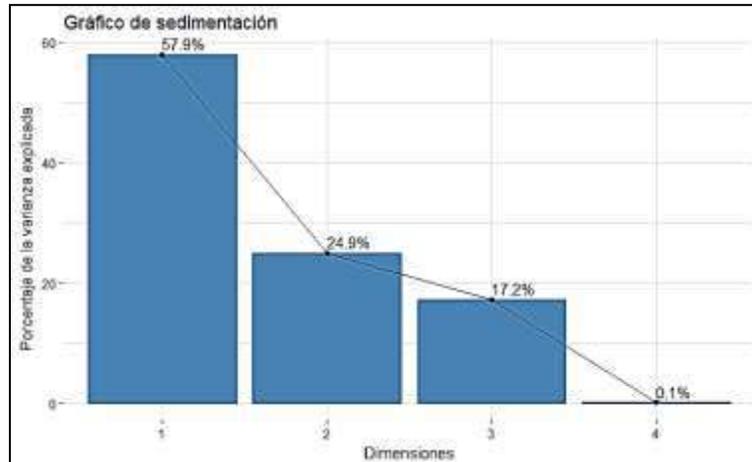


Figura 5. Sedimentación en el ACM.

A pesar de que la variable uso de plaguicida orgánico está altamente correlacionada, bien representada y contribuye con la segunda dimensión que no está correlacionada con las variables: uso de fitosanitarios, uso de fertilizante químico y uso de plaguicida químico de la segunda dimensión, por lo tanto, el segundo factor que influye en la producción del plátano nombrada como “uso y cuidado” están formadas por todas las variables que están conjuntas y correlacionadas con la primera dimensión (uso de fitosanitarios y uso de plaguicida químico), mientras que la variable uso de fertilizante químico tiene una baja correlación, baja representación y baja contribución con respecto a la primera dimensión, por ende esta dicha variable tendrá una baja influencia en la producción del plátano (Figura 6).

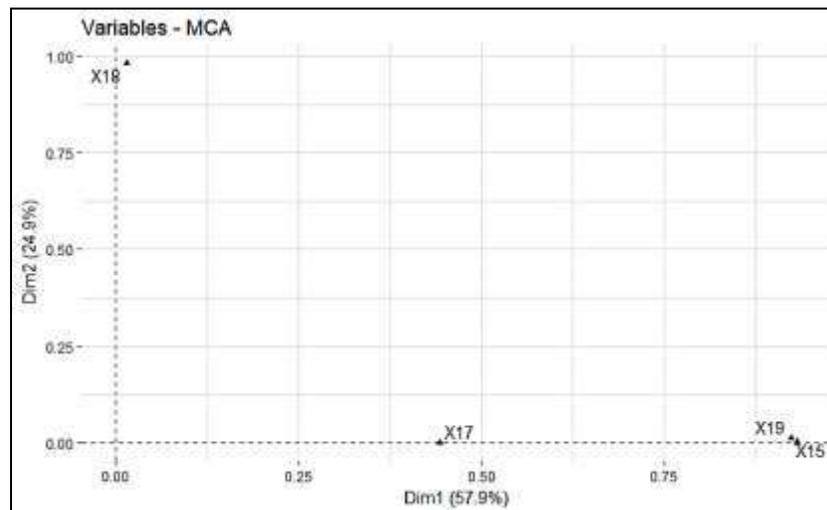


Figura 6. Representación de las variables cualitativas en el mapa factorial del segundo ACM.

Discusión.

En cada técnica analizada se encontró un factor que influye en la producción del plátano, en el ACP el factor “superficie” que está formada por las variables: superficie plantada, superficie en edad productiva, superficie cosecha y ventas, mientras que en el ACM el factor “uso y cuidado” está formada por las variables: uso de fitosanitarios, uso de fertilizante químico y uso de plaguicida químico. Finalmente, la variable uso de fertilizante químico tiene una baja influencia en la producción del plátano.

Las técnicas del ACP y ACM usadas en este estudio es una alternativa para estudiar el tema investigado por Guamán (Guamán, 2018) en donde uno de los objetivos específicos fue identificar los factores que intervienen en la producción del plátano, para dicho objetivo usó la técnica del AFDM.

Dado los resultados obtenidos en el presente estudio usando las técnicas del ACP y ACM, y al ser comparado con los resultados obtenidos con el AFDM (Guamán, 2018), se evidenció que ambos estudios producen los mismo resultados.

Finalmente se recomienda que se determine como factor a un grupo o a la agrupación de variables, más no solo a una variable, es decir el grupo de variables indican que están correlacionadas positivamente y forman un factor a la que se da un nombre.

Agradecimiento.

Los autores agradecen el apoyo del Grupo de Investigación Redes Robustas, Sustentables y Seguras SRSNet del Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica de la Universidad Técnica Particular de Loja UTPL.

Referencias bibliográficas.

- Armendáriz, I., Landázuri, P. A., Taco, J. M., & Ulloa, S. M. (2016). Efectos del control del picudo negro (*Cosmopolites sordidus*) en el plátano. *Agronomía Mesoamericana*, 27(2), 319. <https://doi.org/10.15517/am.v27i2.20552>
- Chrisostom, J., Liu, Y., Harrison, D., Ahmed, A., & Kolin, S. (2017). Empirical Study on Factors Effecting Banana Productivity from the Gender Perspective: A Case of Matombo SACCO in Tanzania. *Developing Country Studies*, 7(12), 80-85. Recuperado a partir de <http://www.iiste.org/Journals/index.php/DCS/article/view/40305/41451>

- Franco, T., & Hidalgo, R. (2003). *Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos*. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Recuperado a partir de <https://www.biodiversityinternational.org/e-library/publications/detail/analisis-estadistico-de-datos-de-caracterizacion-morfologica-de-recursos-fitogeneticos/>
- Guamán, S. (2018). *Análisis estadístico multivariante para el estudio de los factores que influyen en la producción del plátano en el Ecuador, periodo 2014-2016*. Recuperado a partir de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8969>
- INIAP. (s. f.). Banano, plátano y otras musáceas. Recuperado 23 de agosto de 2018, a partir de <http://www.iniap.gob.ec/pruebav3/banano-platano-y-otras-musaceas/>
- Kassambara. (2017). Articles - Principal Component Methods in R: Practical Guide. Recuperado 23 de agosto de 2018, a partir de <http://www.sthda.com/english/articles/31-principal-component-methods-in-r-practical-guide/115-famd-factor-analysis-of-mixed-data-in-r-essentials/>
- Mamuye, N. (2016). Statistical Analysis of Factor Affecting Banana Production in Gamo Gofa District, Southern Ethiopia, *1*(1), 5. <https://doi.org/10.11648/J.EAS.20160101.12>
- Orellana, J., Unda, J., & Analuisa, P. (2002). *Estudio de comercialización del plátano en la zona norte del trópico húmedo ecuatoriano*. Santo Domingo, EC, INIAP, Estación Experimental Santo Domingo, 2002. Recuperado a partir de <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3546>
- Pagès, J. (2004). ANALYSE FACTORIELLE DE DONNÉES MIXTES : PRINCIPE ET EXEMPLE D'APPLICATION. Recuperado a partir de <http://www.agromontpellier.fr/sfds/CD/textes/pages1.pdf>
- SINAGAP. (2014). BOLETÍN SITUACIONAL PLÁTANO. Recuperado 7 de junio de 2017, a partir de <http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2014/nboletin-situacional-de-platano-2014-actualizado.pdf>
- SINAGAP. (2015). BOLETÍN SITUACIONAL PLÁTANO. Recuperado 7 de junio de 2017, a partir de http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2016/boletin_situacional_platano_2015.pdf
- SINAGAP. (2016). BOLETÍN SITUACIONAL PLÁTANO. Recuperado 12 de mayo de 2018, a partir de http://sipa.agricultura.gob.ec/biblioteca/boletines_situacionales/2016/boletin_situacional_platano_2016.pdf

Ulloa, S., Wolf, E., & Armendáriz, I. (2017). Effect of plant density on growth and yield in Barraganete plantain (*Musa paradisiaca* (L.) AAB cv. Curare enano) for a single harvest cutting in Provincia de Los Ríos, Ecuador. *Acta Agronómica*, 66(3), 367-372. <https://doi.org/10.15446/acag.v66n3.52198>

Para citar el artículo indexado.

Guamán S. & Escudero A. . (2018). Factores que influyen en la producción del plátano en el Ecuador, 2014-2016. *Revista electrónica Ciencia Digital* 2(4), 110-121. Recuperado desde: <http://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/view/193/171>



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Ciencia Digital**.

El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Ciencia Digital**.



Software Estadístico CHIC: descubriendo sus potencialidades mediante el análisis de percepción sexual universitaria.



Statistical Software Chic: discovering their potential through the analysis of sexual perception university education.

Rubén Pazmiño.²⁴, Marina Bonilla.²⁵, Jenner Baquero.²⁶ & Rogel Miguez.²⁷

Recibido: 06-07-2017 / Revisado: 16-09-2018 Aceptado: 15-10-2018/ Publicado: 01-11-2018

Abstract.

DOI: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v2i4.1..194>

Statistical Implicative Analysis is a multivariate statistic non-parametric technique to knowledge discovering in databases using asymmetric R-rules within variables and variables classes. Its has been discovered by the French Regis Gras, 40 years ago and is constantly growing in theoretical, computer and application. The computer tool which automates the Statistical Implicative Analysis is called CHIC. In 2015, the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo has finished to development the free version called R-CHIC, its development was made by Raphael Couturier. The methodology used was knowledge discover in databases with the Statistical Implicative Analysis applied to 198 variables and 100 subjects. This communication provides installation, execution, R-CHIC application and its interpretation in sexual perception context, for first time. The main results were the steps to install and execute R-CHIC, the Statistical Implicative Analysis application using similarity trees, hierarchical trees, implicative graphs and its interpretation. Concludes with interesting interpretations of student sexual perception, based on R-CHIC software using symmetrical and asymmetric relationship rules, in a fast, intuitive, visual and comprehensible manner.

²⁴ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Grupo de investigación Ciencia de Datos (CIDED), Riobamba, Ecuador, rpazmino@esPOCH.edu.ec

²⁵ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Grupo de investigación Ciencia de Datos (CIDED), Riobamba, Ecuador, marina.bonilla@esPOCH.edu.ec

²⁶ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Grupo de investigación Ciencia de Datos (CIDED), Riobamba, Ecuador, jenner.baquero@esPOCH.edu.ec

²⁷ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Grupo de investigación Ciencia de Datos (CIDED), Riobamba, Ecuador, rogel.miguez@esPOCH.edu.ec

Keywords: R-CHIC, Statistical Implicative Analysis, sexual perception, ESPOCH.

Resumen.

El Análisis Estadístico Implicativo es una técnica estadística no paramétrica multivariada para descubrir conocimiento en Bases de Datos mediante R-reglas asimétricas entre variables y clases de variables. Fue descubierta por el francés Regis Gras aproximadamente hace 40 años y está en constante crecimiento en su parte teórica, computacional y aplicaciones. La herramienta computacional que automatiza el Análisis Estadístico Implicativo es llamada CHIC, en el año 2015 se finalizó en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo el desarrollo de su versión libre llamada R-CHIC, su desarrollo estuvo a cargo del francés Raphael Couturier. La metodología utilizada fue la del descubrimiento de conocimiento en bases de datos con el Análisis Estadístico Implicativo aplicado a una base de datos de 198 variables y 100 sujetos. Esta comunicación aporta mostrando la instalación, ejecución y además la aplicación del software estadístico R-CHIC y su interpretación en el contexto de la percepción sexual, por primera ocasión. Como principales resultados se obtuvieron los pasos para la instalación y ejecución de R-CHIC, la aplicación del Análisis Estadístico Implicativo mediante árboles de similaridad, árboles jerárquicos y grafos Implicativos y su interpretación. Se concluye con interpretaciones interesantes a la percepción sexual estudiantil basadas en el software R-CHIC mediante reglas de relación simétricas y asimétricas en forma rápida, visual, intuitiva y comprensible.

Palabras Claves: R-CHIC, Análisis Estadístico Implicativo, percepción sexual, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Introducción.

Esta sección permite un primer acercamiento al Análisis Estadístico Implicativo, el software CHIC y realiza una aproximación a la percepción sexual en general y a la percepción sexual en la Escuela Superior Politécnica en particular.

El Análisis Estadístico Implicativo.

El análisis estadístico Implicativo (ASI, del francés Analisis Statistica Implicativa), es una teoría estadística desarrollada por el francés Regis Gras en los años 80, utiliza el concepto de cuasi-implicación para generar relaciones asimétricas entre variables basadas en r-reglas (Couturier & Pazmiño, 2016). La cuasi-implicación $p \rightarrow q$ se produce cuando la variable p es observada entonces generalmente la variable q también lo es, es decir es una implicación lógica, pero con pocas excepciones. A diferencia de los métodos de análisis simétricos (Regnier, 2009) los conjuntos de reglas obtenidos pueden conducir a hipótesis de causalidad (GRAS & COUTURIER, 2012). Una de las representaciones gráficas que utiliza el análisis

estadístico Implicativo es el dendograma que es un tipo de diagrama de árbol utilizado en las agrupaciones jerárquicas, para representar relaciones entre variables en diferentes niveles de similaridad, los nodos significativos son nodos correspondientes a una clasificación compatible lo mejor posible con los valores y la calidad del agrupamiento obtenido. Desde sus orígenes la teoría del ASI ha sido aplicada en la generación y gestión de conocimiento en educación, psicología, matemática, arte, medicina pero no en el estudio de la sexualidad (Pazmiño, 2014), llevándose a formalizar su relación con el descubrimiento de conocimiento en bases de datos (KDD) en el artículo (Pazmiño-Maji, García-Peñalvo, & Conde-González, 2017). CHIC (del francés Classification Hiérarchique, Implicative & Cohésitive) y R-CHIC (CHIC en el ambiente estadístico R) son programas desarrollado por Raphaël Couturier que automatiza la teoría del análisis estadístico Implicativo (Couturier, 2007) (Pazmiño-Maji, García-Peñalvo, & Conde-González, 2016).

El Software Estadístico CHIC.

La génesis histórica y la evolución del software CHIC se da en paralelo con los desarrollos teóricos del ASI. R. Gras, en 1979 construye el índice de implicación estadística entre variables binarias, más tarde junto con su equipo amplían el estudio de la implicación al considerar en cada etapa de nuevos problemas planteados las nociones matemáticas y analizar otro tipo de relación entre variables: no binarias, de intervalo, de intervalo y difusas, de cualquier tipo (Régner & Gras, 2015). Existe la necesidad de nuevos desarrollos teóricos que consideren el concepto de “inclusión de implicaciones”, nociones de tipicidad y la contribución de variables adicionales, nodos significativos, apoyándose en la herramienta informática CHIC (Ribeiro, Santos, Vilardell, Carolei, & Mengali, 2015). Antes de 1990, el software CHIC fue una versión primitiva realizada por Regis Gras y programada en Basic para microcomputadora en 1984, donde se implementó principalmente el cálculo de las intensidades de implicación (Gras, 2014). En los años 1990-1992, S. Almouloud, realizó una herramienta informática confiable y amigable, un software de análisis de datos para permitir la integración de varios tratamientos, además del análisis de similitud de IC Lerman, el análisis implicativo de Regis Gras y sus extensiones como jerarquía implicativa de clase y estudio de variables numéricas y modales. Esta primera edición de datos conlleva a restricciones como la imposibilidad de agregar o eliminar variables o individuos, entre otras, siendo mejorado progresivamente por S. Ag Almouloud aumentando la extensión de la tabla de datos, la concatenación de dos archivos con el mismo número de individuos, modificación de valor de un dato, reproducción del archivo de datos, mejor gestión de memoria y puertos gráficos, el cálculo de las intensidades de implicación (Couturier & Almouloud, 2009). El principal cambio que hizo luego es la precisión de los resultados y con A. Totohasina se simula la ley normal. La última versión de CHIC realizada por S. Ag Almouloud fue escrita en turbo pascal 6, consistía en un programa principal y un conjunto de subprogramas: la edición, clasificación de similitud jerárquica, nodos significativos, implicación de variables, cálculo de parámetros, construcción del grado implicativo y jerarquía implicativa y nodos

significativos (Couturier & Almouloud, 2009). En paralelo Harrison Ratsimba Rajohn introdujo la noción de tipicalidad de variables adicionales e individuos y realizó el programa informático que permitía su tratamiento. Desde 1993, Raphaël Couturier ha proporcionado mejoras y una evolución del software CHIC considerando los nuevos desarrollos teóricos de ASI y los deseos de los usuarios; dando lugar a docenas de versiones diferentes hasta la versión actual 7.0 realizada en C, que permite tratar diferentes variables, que no sean binarias, cuantificar la importancia de los valores atribuidos a la calidad, la consistencia de la regla asociadas, de las clases de reglas ordenadas, la tipicalidad y la contribución de sujetos o categorías de sujetos a ciertas reglas, representar un umbral de calidad elegido, rutas de reglas y reglas generalizadas y eliminar, agregar y asociar variables (COUTURIER, 2000). Actualmente el software CHIC procesa variables binarias (caso más simple), variables de frecuencia (valor entre 0 y 1), variables definidas por intervalo y variables de intervalo (se usan para modelar situaciones complejas). En el año 2015 se finalizó en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo el desarrollo de la versión libre de CHIC, llamada R-CHIC, por el francés Raphael Couturier. Tanto CHIC como R-CHIC utilizan el formato CSV como el formato de datos para los archivos de datos, se pueden usar variables adicionales para la formación de ciertas reglas, se usa en el cálculo de tipicalidad y contribución. CHIC a diferencia de R-CHIC, ofrece otras herramientas interesantes como el cálculo de la contribución y la tipicalidad de un individuo o un conjunto de individuos a una regla dada, en cada representación gráfica.

La percepción sexual.

La percepción es el proceso en el cual registramos todo lo que está a nuestro alrededor o en interacción con nosotros, en forma tal que tiene un significado. Incluye los valores, las tradiciones, los estereotipos, las vivencias y los conocimientos que tienen las personas sobre determinados aspectos o situaciones de la vida (Calero & Santana, 2001). El entorno, el medio de socialización y las personas con las cuales se convive durante la adolescencia juega un papel importante en la educación, en la formación y transmisión de valores, los que definen sus percepciones y comportamientos relacionado a su sexualidad. El término sexualidad aparentemente desconocido, pero que no siempre somos capaces de definir; la palabra sexualidad se incorpora al vocabulario envuelta en mitos, temores, signos de interrogación y expectativas. Los investigadores desde sus disciplinas científicas y posiciones filosóficas (médicos, psicólogos, pedagogos, biólogos), han propuesto conceptos que intentan definir la sexualidad humana (Ciencias, Granma, Universitario, Hirzel, & Granma, 2016). La sexualidad es concebida como el conjunto de características biológicas, psicológicas y socioculturales, acompañadas de creencias, comportamientos, sentimientos, actitudes, pensamientos y valores presentes en toda la vida del individuo permitiéndole expresarse y relacionarse (Hurtado, Zabalgaitia, & Olvera, 2013). La sexualidad es considerada como una construcción social, en la que se involucran nuestras emociones, deseos y relaciones, expresadas en la sociedad en que vivimos (Adela Montero, 2011), es una

parte de la personalidad e identidad y una de las necesidades humanas que se expresa a través del cuerpo, el elemento básico de la femineidad y masculinidad, de la autoimagen, la autoconciencia (Ciencias et al., 2016). No se puede comprender la sexualidad humana sin reconocer de antemano su índole pluridimensional (Guerra Electra, 2016). La sexualidad de cada uno de nosotros emerge y existe en un contexto cultural, influenciada por variables tales como psicológicas, biológicas, socio económicas, edad, rol de género, etnicidad, siendo imprescindible el reconocimiento y respeto de esta variabilidad de formas, creencias y conductas sexuales (Adela Montero, 2011). El conocimiento de la sexualidad contribuye a que las personas sean más plenas y afronten la vida sexual con cierta preparación, el conocimiento sobre sexualidad en la juventud es esencial para lograr una sexualidad responsable (Guerra Electra, 2016). Según la definición de las Naciones Unidas, los jóvenes son las personas con edades comprendidas entre los 15 y los 24 años. La UNESCO entiende que los jóvenes constituyen un grupo heterogéneo en constante evolución y que la experiencia de “ser joven”, varía mucho de acuerdo con las regiones del planeta e incluso de un mismo país. La categoría juventud ha sido concebida como una construcción social, histórica, cultural y relacional. Una etapa de vida que tiene sus propias oportunidades y limitaciones, en la cual lo más característico es la construcción de identidad a un nivel personal, generacional y social que se asocian a condiciones individuales, familiares, sociales, culturales e históricas determinadas (Dávila León, 2004). El conocimiento sobre sexualidad en la juventud es esencial para lograr una sexualidad responsable (Guerra Electra, 2016), la adolescencia y juventud son edades tempranas favorables para modificar enseñanzas rígidas, mitos, tabúes, creencias y formas de conductas que hayan influenciado en su formación, permitiéndoles manifestar autorresponsabilidad en el cuidado de la salud en la etapa de adultos (Cabrera, Ramos, Palú, & Cáceres, 2013). Entre los factores que incrementan la vulnerabilidad de los jóvenes destacan el consumo de sustancias como el alcohol y otras drogas, dificultades de negociación de preservativo y el uso de internet para contactar parejas sexuales (Folch, Álvarez, Casabona, Brotons, & Castellsagué, 2015). Según un estudio realizado el consumir bebidas alcohólicas en la adolescencia se vincula con al menos tres indicadores de riesgo sexual como frecuencia de relaciones sexuales, menor uso del condón y mayor número de parejas sexuales, la asociación entre los indicadores del consumo de alcohol y la conducta sexual señala que, consumir bebidas alcohólicas por primera vez concuerda con la edad de la primera relación sexual (Delgado, Flores, Palos, Adolescentes, & Consumo De Alcohol, 2007). Según la OMS (2014) se reconoce más la importancia de abordar la salud sexual y reproductiva de los adolescentes. En la asamblea Mundial de la Salud de la OMS 2018 destacan cómo las desigualdades de género y la discriminación siguen alimentando un número desproporcionado de nuevas infecciones de VIH en mujeres y adolescentes, garantizar el acceso de niñas y mujeres a la salud es clave para lograr la visión de 2018. Según estudios realizados es necesario continuar promoviendo el uso de métodos anticonceptivos y preventivos entre los y las jóvenes para consumir relaciones sexuales protegidas y de esta manera poder disfrutar de una sexualidad saludable

y placentera. El diseño de una estrategia educativa conduce a fomentar un pensamiento responsable sobre salud sexual y reproductiva en los jóvenes (Cabrera et al., 2013).

La percepción sexual en la ESPOCH.

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), tiene su origen en el Instituto tecnológico Superior de Chimborazo, creado mediante Ley No.69,09, expedida por el Congreso Nacional, el 18 de abril de 1969, inicia sus actividades académicas el 2 de mayo de 1972 ("Inicio - Escuela Superior Politécnica de Chimborazo,"). Existen pocos estudios previos sobre percepción sexual en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo a pesar de que se han registrado algunos esfuerzos académicos que han ido desde algún congreso internacional sobre sexualidad, hasta la implementación de un sistema contra el acoso sexual; el estudiante sin embargo, continúa siendo un elemento pasivo de estudio. Según un estudio realizado en la ESPOCH se constata que la educación sexual es deficiente o nula entre los jóvenes universitarios y que la familia, la escuela y los diferentes espacios de socialización, no figuran como ejes formativos en este ámbito. Romper el silencio sobre las relaciones sexuales, la anticoncepción y las Infecciones de Transmisión Sexual es fundamental para acabar con los mitos y permitir a los jóvenes tomar decisiones informadas en relación con sus necesidades individuales (Hernández, del Carmen, Pérez Piñero, & Sanabria Ramos, 2013).

Para tener información sobre la percepción sexual en la ESPOCH, se pidió a cinco grupos de 5 encuestadores que durante una semana desde las 7:00 hasta las 21:00 horas se aplique aleatoriamente una entrevista no estructurada; cada equipo entrevistó a 20 estudiantes de diferentes carreras y edades de la ESPOCH, acerca de sus percepciones vinculadas a las prácticas, costumbres y criterios de su realidad sexual esto se lo hizo sin inducir y exponer indicadores o variables idiosincráticas inductivas para no incurrir en sesgos culturales.

Materiales y métodos.

Los materiales utilizados fueron la Base de datos de Percepción Sexual y el software estadístico libre R-CHIC, a continuación describimos detalladamente cada uno de ellos.

La Base de datos de Percepción Sexual y el software estadístico libre R-CHIC.

Se analizaron las entrevistas, extrayéndose de estas, las palabras clave de cada criterio, estas vinieron a constituir las comunalidades del estudio, cuya frecuencia analizada por triangulación arrojó el verificador de comunidad de criterios. Se realizó un estudio multivariado de correspondencias de los datos de las variables con fines de validación factorial de los datos, esto, posterior a la respectiva validación de fiabilidad. Finalmente se perfiló un estudio de la percepción sexual de los estudiantes mediante el software R-CHIC. A continuación se muestran en detalle los pasos para la instalación y ejecución del software R-CHIC

- 1) Instalar R de la página web
- 2) Instalar de la página web RStudio (Pazmiño, 2014)
- 3) Crear un proyecto en RStudio,
- 4) Crear un R-script en RStudio
- 5) Instalar y activar el paquete Rgraphviz de la página web ("Bioconductor - Rgraphviz,")
- 6) Instalar y activar los paquetes stringr, tcltk2 y Rcpp.
- 7) Acceder a la página oficial de R-CHIC ("Rchic - | Raphael Couturier,")
- 8) Descargar, instalar y activar el paquete R-CHIC
- 9) Preparar los datos en formato csv (del inglés a comma separated values)
- 10) Ubicar la base en formato csv en la carpeta del proyecto
- 11) Para la ejecución activar el menú de R-CHIC utilizando el comando rchic()
- 12) Seleccionar una de las tres opciones de cálculo: Complete graph, Classic, Classic + confidence, Implifiance, ver Figura 1.a.
- 13) Seleccionar una de las opciones del menú: Similarity tree, Hierarchi tree, Implicative graph (ver Figura 1.b.); y finalmente
- 14) Descubrir el conocimiento en los resultados obtenidos:

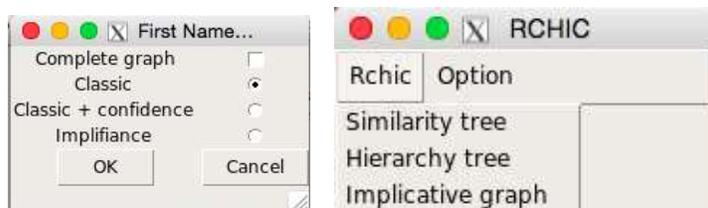


Figura 1.a y 1.b. Opciones de cálculo y del menú del R-CHIC

El Método del Análisis Estadístico Implicativo.

La metodología utilizada se ha tomado de (Pazmiño-Maji et al., 2017) y se basa en los pasos que constituyen el proceso del Análisis Estadístico Implicativo desde el punto de vista del descubrimiento de conocimiento en bases de datos KDD (del inglés Knowledge DataBase). A continuación, se detallan los pasos aplicados en la metodología (Ver Figura 2.):

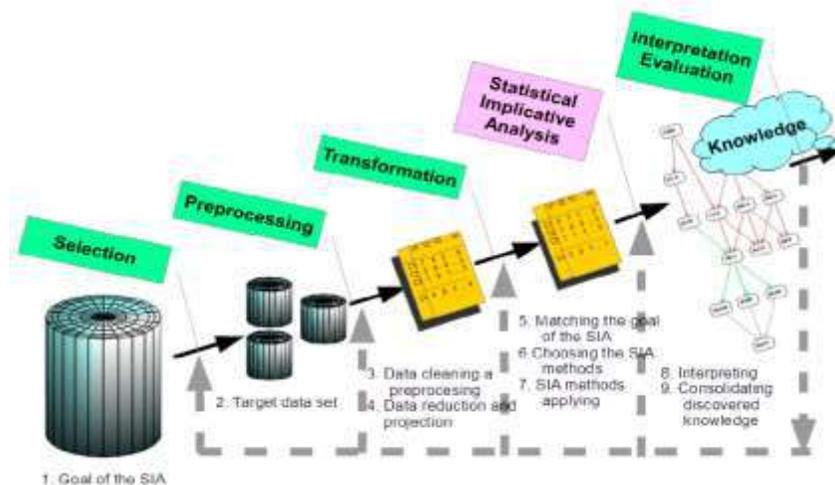


Figura 2. Metodología basada en el descubrimiento de conocimiento en bases de

datos KDD

Selección: Se realizó una selección aleatoria de 100 estudiantes universitarios de diferentes carreras y edades de la ESPOCH y se les aplicó una entrevista no estructurada; acerca de sus percepciones sexuales. La muestra fue tomada considerando futuros estudios inferenciales, que la principal fuente de datos son los estudiantes de la Facultad de Ciencias, que según el informe del Análisis Socio-Económico de la Población de Estudiantes de la ESPOCH la Facultad de Ciencias tiene un promedio aproximado de 948 estudiantes y aplicando la fórmula de muestreo de proporciones con población conocida, un valor alfa de 0.1 y un error máximo permitido de 0.08 se obtuvo un tamaño muestral mayor o igual a 95.175 y que lo aproximamos con 100.

Preprocesamiento: La entrevista realizada se digitalizó en una hoja de cálculo en excel obteniéndose una base de datos estadística de 100 filas por 60 columnas.

Transformación: La base de datos obtenida se transformó en una base de datos dicotómica en formato de texto separado por comas (*.csv) conformado por una total de 100 filas correspondientes a los trabajos de titulación y 649 columnas, correspondientes a la información codificada.

Análisis estadístico Implicativo: Se lo aplicó utilizando el software R-CHIC versión 0.25, con él se obtuvieron árboles de similaridad, grafos implicativos y árboles de jerárquicos que se basaron en los datos en formato plano separado por comas y luego se exportaron en formato JPEG.

Interpretación y Evaluación: La generación, interpretación y evaluación del nuevo conocimiento se basaron en los gráficos obtenidos que muestran mediante los grafos de implicación las R-Reglas, los árboles de similaridad que muestra las variables similares utilizando el criterio de similaridad de Israel Lerman y el árbol jerárquico que permite ver mediante un dendograma las diferentes relaciones asimétricas entre variables y clase de variables.

Resultados y discusión.

Para los ejemplos de aplicación a la base de datos de percepción sexual y su discusión se utilizaron variables extraídas de la entrevista no estructurada, que se muestran a continuación en la Tabla 1:

Tabla 1. *Algunas preguntas y sus posibles respuestas de la entrevista no estructurada sobre percepción sexual.*

Preguntas	Respuestas
¿Cuál es la primera palabra que asocias con sexo?	v051.P11.amor, v051.P11.caricias, v051.P11.cariño, v051.P11.comprensión, v051.P11.deseo, v051.P11.felicidad, v051.P11.hombre, v051.P11.intimidad, v051.P11.mujer, v051.P11.pareja, v051.P11.pasión, v051.P11.placer, v051.P11.satisfacción, v051.P11.vida
¿Cuáles son los motivos que te impulsaron a tener tu primera relación?	v053.P13.curiosidad, v053.P13.incitación_de_los_medios_de_comunicación, v053.P13.ninguna, v053.P13.presión_de_la_pareja, v053.P13.presión de las amistades
¿Qué método anticonceptivo usas?	v059.P19.dispositivos, v059.P19.inyecciones, v059.P19.pastillas, v059.P19.preservativo, v059.P19.ninguna, v059.P19.otros
¿Cuál método anticonceptivo no utilizarías?	v062.P22.anticonceptivo de emergencia, v062.P22.anticonceptivo oral, v062.P22.coito interrumpido, v062.P22.DUI, v062.P22.inyecciones, v062.P22.preservativos, v062.P22.ritmo menstrual, v062.P22.ninguno
¿Le ha diagnosticado el médico alguna enfermedad de transmisión sexual?	v066.P26.gonorrea, v066.P26.ladillas, v066.P26.micosis, v066.P26.tricomonas, v066.P26.ninguna
¿Hace cuánto tiempo tuvo esta enfermedad?	v067.P27.en_los_ultimos_12_meses, v067.P27.hace_5_anos_o_mas, v067.P27.hace_mas_de_1_ano_pero_menos_5, v067.P27.ninguno
¿Cuándo tuvo su primera relación sexual cree que su pareja tenía relaciones con alguien más?	v079.P39.no_sabia, v079.P39.no_yo_lo_sabia, v079.P39.probablemente pero_yo_no_lo_sabia, v079.P39.probablemente si pero_yo_no_lo_sabia, v079.P39.si_yo_lo_sabia, v079.P39.ninguna

La figura 3 muestra el árbol de similaridad, en él se puede apreciar la formación de dos grandes grupos o clases que engloban algunas variables y que establecen las conexiones de similaridad entre las diferentes clases de variables. El grupo de la izquierda está conformado por la variable presión de las amistades asociado a tener su primera relación sexual y el uso de dispositivos como método anticonceptivo que se asocia en un séptimo nivel con cuando tuvieron su primera relación sexual creen que probablemente su pareja tenía relaciones con alguien más pero que no lo sabían. En el grupo de la izquierda se relaciona en sexto nivel, conformado por pasión como la primera palabra que asocian con sexo y que no sabía si su pareja tenía relaciones con alguien más cuando tuvo su primera relación sexual, asociada en un octavo nivel con amor observándose una baja similaridad. En esta clase también se relaciona la influencia de las amistades como un motivo para tener por primera vez relaciones sexuales, usan dispositivos como método anticonceptivo y que existe la probabilidad que su pareja tenía relaciones con alguien más. La segunda conexión se establece entre pasión, desconocimiento de que su pareja podía tener relaciones con alguien más en su primera relación sexual y baja similaridad con el amor. El grupo de la derecha está compuesto por dos subclases, la primera con un nodo significativo en un primer nivel conformado por tricomoniasis como Infección de Transmisión Sexual (ITS) diagnosticada por un médico y que probablemente su pareja tenía relaciones con alguien más en su primera relación sexual

pero que no lo sabían, agrupando a las anteriores en un tercer nivel la incitación de los medios de comunicación que le motivaron e impulsaron a tener la primera relación sexual. A todas las conexiones descritas se asocia en un cuarto nivel de similaridad a que sí probablemente su pareja tenía relaciones con alguien más en su primera relación pero que no lo sabía. Este grupo asocia también el placer como la primera palabra que relacionan con el sexo y que no cree que su pareja tenía relaciones con alguien más cuando tuvo su primera relación sexual ya que lo sabía. Además, se unen inicialmente una ITS la tricomoniasis, la duda que su pareja tenía relaciones con alguien más en su primera relación sexual, el motivo para tener su primera relación sexual la incitación de los medios de comunicación, todas éstas con probablemente su pareja si tenía relaciones con alguien más en su primera relación pero que no lo sabía y la segunda conexión se establece entre placer y que no cree que su pareja tenga relaciones con alguien más en su primera relación sexual. El índice de conexión entre las dos clases principales es bajo lo que muestra que existe una moderada similaridad.

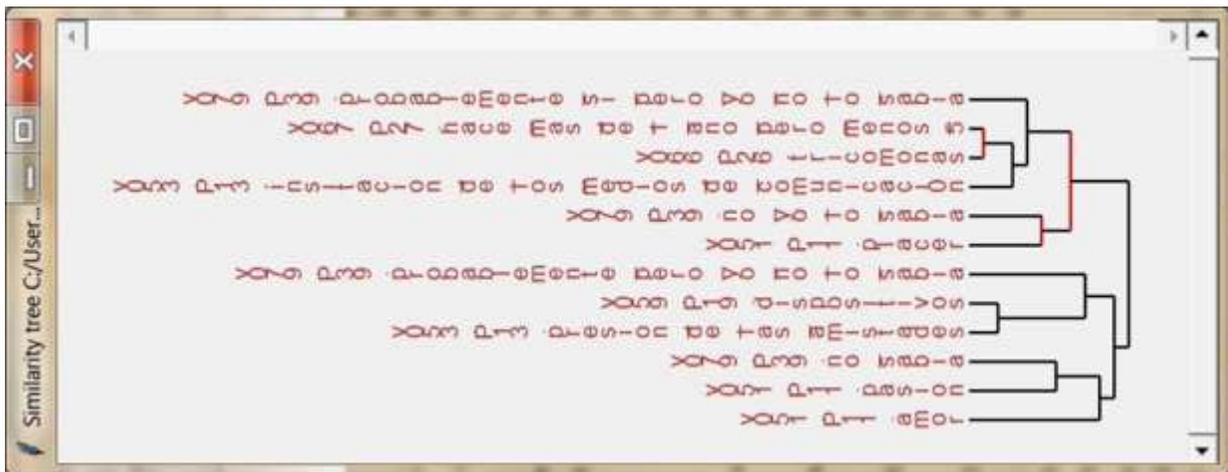


Figura 3. Arbol de Similaridad generado por R-CHIC, para los datos de percepción sexual

La tabla 2, muestra algunas de las reglas de clasificación generadas automáticamente por el software estadístico R-CHIC. Además, su nivel de cohesión y su interpretación en el contexto de la percepción sexual universitaria.

Tabla 2. Algunas preguntas y sus posibles respuestas de la entrevista no estructurada sobre percepción sexual.

No	Clasificación	Interpretación	Coh
1	(v051.P11.amor v051.P11.pasión)	Significa que la primera palabra que asocian con sexo es amor y relaciona con pasión.	1
2	((v051.P11.amor v051.P11.pasión) v051.P11.placer)	Significa que sexo asocian con palabras amor y pasión asocia también con placer.	1
3	((v051.P11.amor v051.P11.pasión) v051.P11.placer) v053.P13.incitación de los medios de comunicación)	Significa que sexo asocian con amor, pasión, placer que relaciona con la incitación de los medios de comunicación como un motivo para tener su primera relación sexual.	1
4	((v051.P11.amor v051.P11.pasión) v051.P11.placer) v053.P13.incitación de los medio de comunicación) v053.P13.presión de las amistades)	Significa que sexo asocian con palabras como amor, pasión, placer, persuadido por los medios de comunicación asocian también con la presión que ejercen las amistades como un motivo para tener su primera relación sexual.	1
5	((v051.P11.amor v051.P11.pasión) v051.P11.placer) v053.P13. incitación de los medios de comunicación) v053.P13. presión de las amistades) v059.P19.dispositivos)	Significa que sexo asocian con amor, pasión, placer, que está influenciado por los medios de comunicación y las amistades para tener su primera relación sexual, asocian con el uso de dispositivos como método anticonceptivo.	1
6	((v051.P11.amor v051.P11.pasión) v051.P11.placer) v053.P13. incitación de los medios de comunicación) v053.P13. presión de las amistades) v059.P19.dispositivos) v059.P19.ninguna)	Significa que sexo asocian con amor, pasión, placer, que está influenciado por los medios de comunicación y las amistades para tener su primera relación sexual con el uso de dispositivos como método anticonceptivo, asocian también con ninguno.	1
7	((v051.P11.amor v051.P11.pasión) v051.P11.placer) v053.P13. incitación de los medios de comunicación) v053.P13. presión de las amistades) v059.P19.dispositivos) v059.P19.ninguna) v059.P19.otros)	Significa que sexo asocian con amor, pasión, placer, que está influenciado por los medios de comunicación y las amistades para tener su primera relación sexual con el uso de dispositivos como método anticonceptivo, existen estudiantes que no utilizan ningún método anticonceptivo, asocian también con otros.	1
11	(v051.P11.caricias v059.P19.inyecciones)	Significa que caricias es la primera palabra que asocian con sexo, relacionan con las inyecciones como el método anticonceptivo que usan.	1
12	((v051.P11.caricias v059.P19.inyecciones) v062.P22.anticonceptivo oral)	Significa que caricias es la primera palabra que asocian con sexo, usan inyecciones como método anticonceptivo, relacionan con anticonceptivo oral como método anticonceptivo que usan.	1

13	(v051.P11.cariño v059.P19.pastillas)	Significa que cariño es la primera palabra que asocian con sexo, relacionan con pastillas como el método anticonceptivo que usan	1
14	(v051.P11.comprensión v062.P22.coito interrumpido)	Significa que la comprensión es la primera palabra que asocian con sexo, relacionan con coito interrumpido como el método anticonceptivo que no utilizarían	1
15	(v051.P11.deseo v062.P22.anticonceptivo de emergencia)	Significa que deseo es la primera palabra que asocian con sexo, relacionan con anticonceptivo de emergencia como el método anticonceptivo que usan	1
16	(v051.P11.felicidad v062.P22.ritmo menstrual)	Significa que la felicidad es la primera palabra que asocian con sexo, relacionan con ritmo menstrual como el método anticonceptivo que no utilizarían.	1
17	(v051.P11.hombre v079.P39.no sabia)	Significa que hombre es la primera palabra que asocian con sexo, relacionan con no sabían que su pareja tenía relaciones con alguien más cuando tuvo su primera relación sexual.	1
18	(v051.P11.mujer v062.P22.inyecciones)	Significa que mujer es la primera palabra que asocia con sexo, relacionan con las inyecciones como el método anticonceptivo que usan	1
19	(v051.P11.vida v079.P39.no yo lo sabía)	Significa que vida es la primera palabra que asocian con sexo, relacionan con no cree que su pareja tenía relaciones con alguien más cuando tuvo su primera relación sexual, lo sabían.	1
20	v067.P27.ninguno v051.P11.satisfacción)	Significa que en ningún momento tuvieron Infección de Transmisión Sexual (ITS), asocian con satisfacción que es la primera palabra que relacionan con sexo.	1
21	(v066.P26.ninguna v053.P13.ninguna)	Significa que no le han diagnosticado el médico ninguna infección de transmisión sexual, asocia con ninguno de los siguientes motivos curiosidad, incitación de los medios de comunicación, presión de la pareja o de las amistades le impulsaron a tener tu primera relación sexual.	1
26	((v051.P11.mujer v062.P22.inyecciones) (v051.P11.deseo v062.P22.anticonceptivo_de_e mergencia))	Significa que mujer es la primera palabra que asocia con sexo, las inyecciones es el método anticonceptivo que usan, relacionan con el deseo como la primera palabra que asocian con sexo, el anticonceptivo de emergencia es el método anticonceptivo que usan.	0.99999 8
27	(v066.P26.gonorrea ((v051.P11.mujer v062.P22.inyecciones) (v051.P11.deseo v062.P22.anticonceptivo_de_e mergencia)))	Significa que le han diagnosticado el médico gonorrea como infección de transmisión sexual, relacionan con mujer como la primera palabra asociada con sexo y las inyecciones como el método anticonceptivo que usan, paralelamente la palabra deseo con sexo y el uso del anticonceptivo de emergencia	0.99999 4

La Figura 4, muestra en la representación gráfica (dendograma) algunas de las reglas de

clasificación generadas automáticamente por el software estadístico R-CHIC.

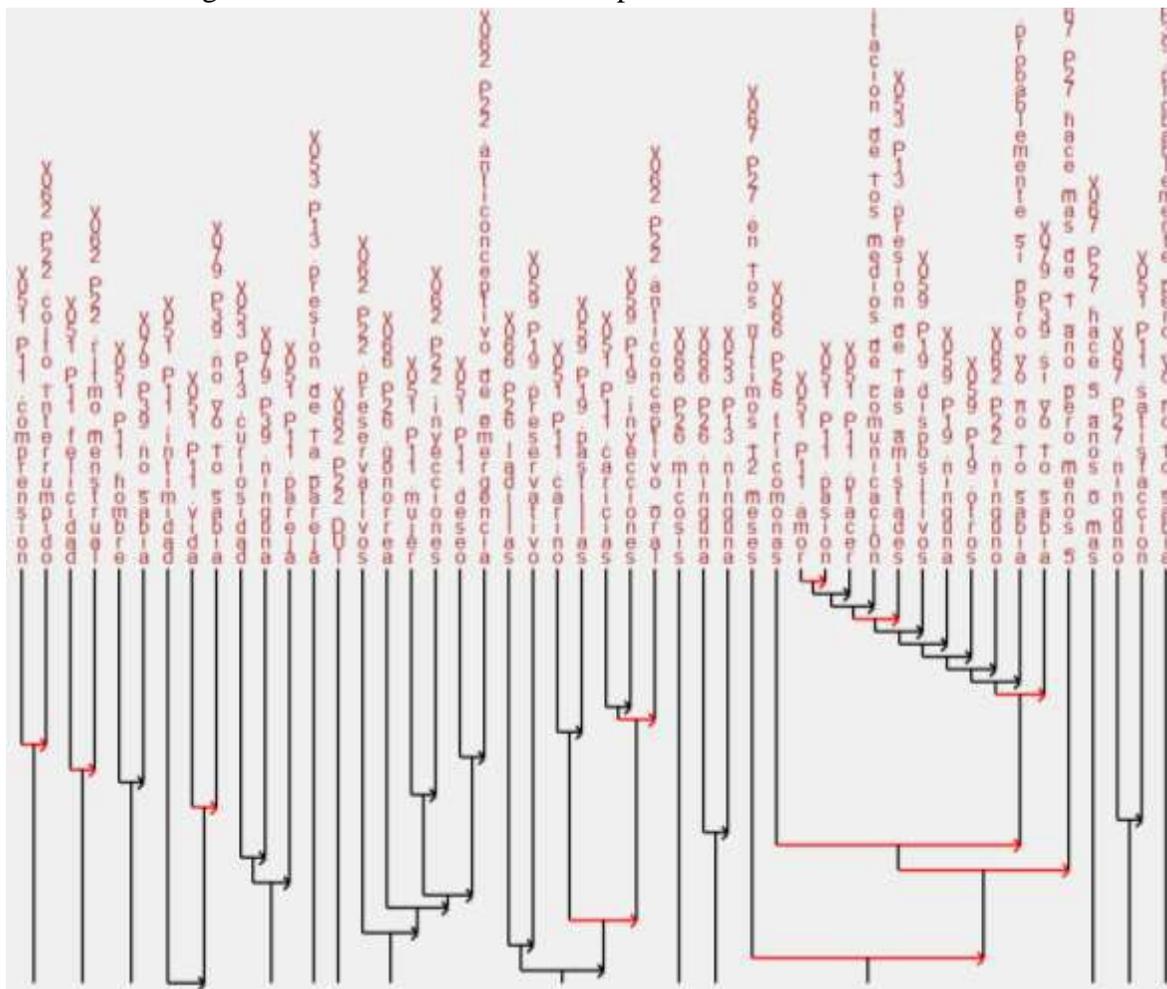


Figura 4. Árbol de jerárquico generado por R-CHIC, para los datos de percepción sexual

A continuación se muestran e interpretan las R-reglas obtenidas automáticamente con el software libre R-CHIC y que se puede observar en la Figura 5.

Regla R1: Los estudiantes que relacionan la palabra amor, pasión, placer con sexo no sabían que cuando tuvieron su primera relación sexual que su pareja tenía relaciones con alguien más, con una intensidad implicativa comprendida entre 60% y 65%,

Regla R2: A los estudiantes que les diagnosticó el médico tricomoniasis como infección de transmisión sexual fue hace más de un año pero menos de 5 con una intensidad implicativa del 80%, los cuales relacionaron el sexo con el placer con una intensidad implicativa del 65%, y no creen que su pareja en su primera relación sexual tenía relaciones con alguien más porque lo sabían, con una intensidad del 65%.

Regla R3: A los estudiantes que les diagnosticó el médico tricomoniasis como infección de transmisión sexual fue hace más de un año pero menos de 5 con una intensidad implicativa del 80%, fueron impulsados a tener su primera relación sexual por la incitación de los medios

de comunicación con una intensidad implicativa del 65% y si creen que en su primera relación sexual su pareja tenía relaciones con alguien más, pero que no lo sabían con una intensidad implicativa del 65%,

Regla R4: Los estudiantes que no utilizarían el método anticonceptivo de dispositivos, fueron impulsados a tener su primera relación sexual por presión de las amistades con una intensidad implicativa del 80%.

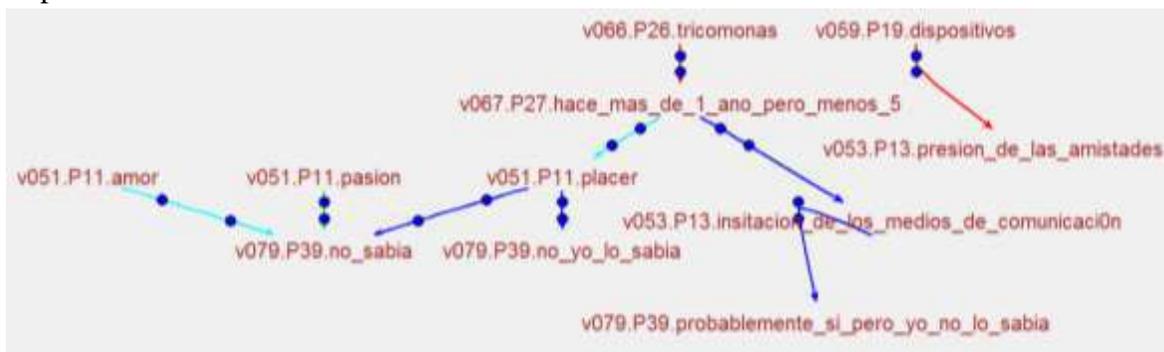


Figura 5. Grafo implicativo generado por R-CHIC, para los datos de percepción sexual

Conclusiones.

En este trabajo se llevó a cabo un análisis implicativo y de similitudes de los resultados obtenidos en una encuesta sobre percepción sexual aplicado a estudiantes universitarios. Las relaciones implicativas ponen de manifiesto la implicación de unas pruebas sobre otras, y las de similitud indican la homogeneidad entre variables. Los resultados de los gráficos de similitud evidencian dos grandes grupos de similitud. Uno que incluye el motivo que les impulsaron para tener por primera vez relaciones sexuales fue la influencia de las amistades, uso de dispositivos como método anticonceptivo, la probabilidad que su pareja tenía relaciones con alguien más, la pasión, el amor y el desconocimiento de que su pareja tenía relaciones con alguien más en su primera relación sexual. Otro que incluye la tricomoniasis como una Infección de Transmisión Sexual (ITS) diagnosticada por un médico, la duda que su pareja tenía relaciones con alguien más en su primera relación sexual, un motivo que le impulsó para tener su primera relación sexual fue la incitación de los medios de comunicación, la probabilidad de que su pareja si tenía relaciones con alguien más en su primera relación pero que no lo sabía, el placer como la primera palabra que asocia con sexo, que no cree que su pareja tenía relaciones con alguien más en su primera relación sexual. Los gráficos muestran poca similitud en la conexión entre estos dos grupos. El análisis implicativo muestra que se forman dos grupos de implicación cuando se estudian los resultados. El nivel de significación máximo es de 80%. Mayor grado de influencia tiene la ITS tricomoniasis al iniciar el árbol implicativo, pero no existe implicaciones con el método anticonceptivo de uso de dispositivos el mismo que solo influye en la presión de las amistades como el motivo que le impulsaron a tener su primera relación sexual.

Se han realizado interpretaciones importantes en la percepción sexual estudiantil basándonos en el Análisis Estadístico Implicativo, mediante reglas de relación simétricas y asimétricas. Además, el software R-CHIC permite en forma rápida, visual, intuitiva y comprensible el descubrimiento de conocimiento en la percepción sexual estudiantil.

Agradecimientos.

Los autores agradecen a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo que mediante el apoyo al proyecto “Análisis e innovación de las investigaciones en la Facultad de Ciencias como estrategia para incrementar la producción científica”, permite que se analice, mejore e incremente la investigación en la Facultad de Ciencias y en la ESPOCH, a los investigadores del grupo de investigación en Ciencia de Datos – CITED, a Shirley Armas Analuisa por su ayuda en la binarización de los datos.

Referencias bibliográficas.

Adela Montero, M. V. (2011). Educación sexual: Un pilar fundamental en la sexualidad de la adolescencia. *Revista Medica de Chile*.

Bioconductor - Rgraphviz.

Cabrera, A. R., Ramos, G. S., Palú, M. E. C., & Cáceres, B. P. (2013). Estrategia educativa sobre promoción en salud sexual y reproductiva para adolescentes y jóvenes universitarios. *Revista Cubana de Salud Publica*.

Calero, J. L., & Santana, F. (2001). Percepciones de un grupo de adolescentes sobre iniciación sexual, embarazo y aborto. *Revista Cubana de Salud Publica*.

Ciencias, U. D. E., Granma, M., Universitario, P., Hirzel, J., & Granma, B. (2016). Conocimientos sobre sexualidad en adolescentes estudiantes de medicina . Bayamo , 2014 Knowledge on sexuality by adolescent ' s medical students . Bayamo. 20(5), 52-69.

COUTURIER, R. (2000). TRAITEMENT DE L'ANALYSE STATISTIQUE DANS CHIC. *ASI1*, 9.

Couturier, R. (2007). CHIC: utilización y funcionalidades. *ASI4*, 14.

Couturier, R., & Almouloud, S. A. (2009). Historique et fonctionnalités de CHIC.

- Couturier, R., & Pazmiño, R. (2016). Use of Statistical Implicative Analysis in Complement of Item Analysis. *International Journal of Information and Education Technology*, 6(1), 39.
- Dávila León, O. (2004). ADOLESCENCIA Y JUVENTUD: DE LAS NOCIONES A LOS ABORDAJES. *Ultima década*. doi: 10.4067/s0718-22362004000200004
- Delgado, J. R. P., Flores, M. I. B., Palos, P. A., Adolescentes, & Consumo De Alcohol, Y. C. S. D. R. E. (2007). CONSUMO DE ALCOHOL Y CONDUCTA SEXUAL DE RIESGO EN ADOLESCENTES (Vol. 18).
- Folch, C., Álvarez, J. L., Casabona, J., Brotons, M., & Castellsagué, X. (2015). Determinantes de las conductas sexuales de riesgo en jóvenes de cataluña. *Revista Espanola de Salud Publica*. doi: 10.4321/s1135-57272015000500005
- Gras, R. (2014). Genèse et développement de l'Analyse Statistique Implicative ; rétrospective historique. *Educação Matemática Pesquisa*, 16(3), 645-661.
- GRAS, R., & COUTURIER, R. (2012). Entropic implication and causality. *ASI6*, 12.
- Guerra Electra, M. M. V. I. S. M. C. S. (2016). Conocimientos sobre sexualidad en adolescentes estudiantes de medicina. *Multimed. Revista Médica. Granma*, 20(5), 52-69.
- Hernández, S., del Carmen, R., Pérez Piñero, J., & Sanabria Ramos, G. (2013). Vivencias de la sexualidad en estudiantes universitarios. *Revista Cubana de Salud Pública*, 39, 915-928.
- Hurtado, T., Zabalgoitia, M., & Olvera, J. (2013). Conocimientos Y Actitudes Sobre. *Artículo*, 16(1), 258-268.
- Inicio - Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Pazmiño-Maji, R. A., García-Peñalvo, F. J., & Conde-González, M. A. (2016). Approximation of statistical implicative analysis to learning analytics: a systematic review. Paper presented at the Proceedings of the Fourth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality.
- Pazmiño-Maji, R. A., García-Peñalvo, F. J., & Conde-González, M. A. (2017). Statistical Implicative Analysis approximation to KDD and Data Mining: A systematic and mapping review in Knowledge Discovery Database framework.

Pazmiño, R. (2014). Aproximación al Análisis Estadístico Implicativo desde sus Aplicaciones Educativas.

Rchic - | Raphael Couturier.

Regnier, J.-C. (2009). Test de Mac Nemar et Analyse statistique implicative. In G. Régis, R. Jean-Claude & G. Fabrice (Eds.), *Analyse statistique implicative: Une méthode d'analyse de données pour la recherche de causalités*. (pp. 271-277): Éditions Cépaduès.

Régnier, J.-C., & Gras, R. (2015). Extension of the implicative statistical analysis to any continuous variable. In R. Jean-Claude (Ed.), *analyse statistique implicative: des sciences dures aux sciences humaines et sociales* (pp. 130-142). Radès Tunisie: ARSA Association pour la Recherche en Statistique Appliquée.

Ribeiro, R. A., Santos, M. M. d., Vilardell, N. P., Carolei, O., & Mengali, N. M. (2015). *Uso do CHIC na Análise de Praticasen Educacao e Tecnologia. Uso do CHIC na Formação de Educadores*.

Para citar el artículo indexado.

Pazmiño R., Bonilla M., Baquero J., & Miguez R.. (2018). Software estadístico chic: descubriendo sus potencialidades mediante el análisis de percepción sexual universitaria. *Revista electrónica Ciencia Digital* 2(4.1), 122-139. Recuperado desde: <http://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/view/195>



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Ciencia Digital**.

El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Ciencia Digital**.



Aplicación de un diseño experimental completamente al azar para determinar la variabilidad de tamaños en la síntesis de nanopartículas magnéticas de hierro.



Application of a completely randomized experimental design to determine the variability of sizes in the synthesis of magnetic nanoparticles of iron.

Francisco Salvador Vera Moreno²⁸, Rosa Maricela Ormaza Hugo.²⁹, Julio Rolando Coello Cabezas.³⁰, Vilma Nohemí Yanchapanta Bastidas.³¹ & Sara Esther Gusqui Macas³².

Recibido: 10-07-2017 / Revisado: 12-09-2018 Aceptado: 18-10-2018/ Publicado: 01-11-2018

Abstract.

DOI: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v2i4.1..195>

This work applies a completely randomized experimental design within the process of synthesis of magnetic iron nanoparticles (magnetite- $\text{Fe}^2\text{Fe}^3\text{-}_2\text{O}_4$), with the objective of evaluating the size distribution. The synthesis of nanoparticles was carried out through the chemical co-precipitation method presented by *Hidalgo et al.*, considering the modification of controllable parameters such as time, reagent concentration and temperature. The nanoparticles were characterized by infrared spectroscopy by Fourier transform (FT-IR) and scanning electron microscopy (SEM) with the support of the ImageJ software for the study of sizes. Through the analysis of variance, the hypothesis of equality of the mean k of the corresponding response variable is tested by means of the test statistic F . The results show a value $p=2,73\text{E-}12$ and with the pre-determined significance of 0,05 we reject the null hypothesis (H_0), and it is accepted that at least a couple of treatments produce different sizes of NPMs. When comparing the difference

²⁸ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Riobamba, Ecuador. francisco@hotmail.com.

²⁹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias, Riobamba, Ecuador, rormaza@esPOCH.edu.ec

³⁰ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Recursos Naturales, Riobamba, Ecuador, julio.coello@esPOCH.edu.ec

³¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias, Riobamba, Ecuador, vilma.yanchapanta@esPOCH.edu.ec

³² Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias, Riobamba, Ecuador, sarahi05@live.com

in absolute value between the sample means with the value $LSD = 0,00166487$, those differences that are greater than this value were declared significant.

Keywords: Magnetic nanoparticles, experimental design, analysis of variance, co-precipitation, LSD method.

Resumen.

Este trabajo aplica un diseño experimental completamente al azar dentro del proceso de síntesis de nanopartículas magnéticas de hierro (magnetita- $Fe^2-Fe^3-2O_4$), con el objetivo de evaluar la distribución de tamaños. La síntesis de nanopartículas se realizó a través del método de co-precipitación química presentado por Hidalgo et al., considerando la modificación de parámetros controlables como tiempo, concentración de reactivo y temperatura. Las nanopartículas fueron caracterizadas mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR) y microscopía electrónica de barrido (SEM) con el apoyo del software ImageJ para el estudio de tamaños. A través del análisis de varianza se prueba la hipótesis de igualdad de las k medias de la correspondiente variable respuesta mediante el estadístico de prueba F . Los resultados arrojan un valor $p=2,73E-12$ y con la significancia prefijada de 0,05 rechazamos la hipótesis nula (H_0), y se acepta que al menos un par de tratamientos producen distintos tamaños de NPMs. Al comparar la diferencia en valor absoluto entre las medias muestrales con el valor $LSD=0,00166487$, se declaró significativas aquellas diferencias que son mayores a este valor.

Palabras clave: Nanopartículas magnéticas, diseño experimental, análisis de varianza, co-precipitación, método LSD.

Introducción.

La investigación del comportamiento de la materia en la escala nanométrica abre una prometedora perspectiva de nuevos conocimientos, las características físicas de las nanopartículas son muy distintas a las que se observan en un material de tamaño normal con la misma composición química. Hoy en día, se comienzan a utilizar de modo habitual, técnicas experimentales que permiten fabricar, caracterizar y manipular éstas partículas de tamaño minúsculo (Grande, 2007). En general, las propiedades de las nanopartículas magnéticas (NPMs), dependen en gran medida del método de síntesis que se utilice y de la estructura química resultante.

Las NPMs presentan diversas propiedades, entre las cuales podemos mencionar su tamaño, el cual las permite ser comparables a virus o ciertas proteínas; su facilidad al momento de ser

manipuladas con gradientes de campo magnético externo, y además la superficie que tienen y la cual puede ser modificada adecuadamente para trabajar en el análisis de agentes biológicos (Tartaj et al., 2005).

En la mayoría de los casos de síntesis se espera un intervalo de tamaño de las partículas que va desde 1 a 100 nm pudiendo mostrar propiedades características de los óxidos de Hierro, como es el superparamagnetismo (Briones, 2016).

Los métodos de síntesis químicos, como la co-precipitación, presentan varias ventajas sobre otros métodos por su bajo costo y su rápida obtención de grandes poblaciones de NPMs (Fernández., 2013). El análisis de éste método permite observar que ciertos parámetros controlables pueden ser manipulados, y de esta manera tratar de optimizar una receta estándar; con el objetivo de determinar cómo va a afectar la modificación de estos parámetros al tamaño de las NPMs, ya que, de esto dependerán sus propiedades (Castrillón, 2012).

El diseño experimental completamente al azar, tiene la ventaja de ser el más simple de todos los diseños que se utilizan para comparar dos o más tratamientos, dado que para éste sólo se consideran dos fuentes de variabilidad: los tratamientos y el error aleatorio (Gutierrez & De La Vara, 2010).

En esta investigación, se buscó estudiar los parámetros más representativos de la muestra, y determinar la existencia de variaciones en el tamaño de las NPMs. Mediante el método de co-precipitación se sintetizaron las nanopartículas, las cuales se caracterizaron mediante algunas técnicas instrumentales, con lo cual se obtuvo valores de los tamaños de las NPMs (López *et al.*, 2014). Se utilizó el modelo LSD, para comparar los tratamientos y verificar si estos son pertinentes o no de ser realizados, es decir, buscamos identificar los tratamientos más representativos hacia el tamaño de nuestras muestras (MPNS).

En esta investigación, se estudió el proceso de síntesis de NPMs, las cuales fueron obtenidas por medio del método químico de co-precipitación; además con la aplicación del modelo estadístico totalmente al azar se buscó determinar si los tratamientos planteados afectan en el tamaño de las NPMs.

Materiales y métodos.

Síntesis de nanopartículas.

La síntesis de NPMs se realizó por medio del proceso de co-precipitación química, bajo la modalidad de adsorción superficial, por las ventajas que este presenta en el proceso de obtención (Cuadrado, 2017) (Lu et al., 2007).

Se tomó como base la receta estándar presentada por Hidalgo et al. En una bureta de 10ml se fijaron 7,1 ml de agua destilada, para luego trasvasar a un vaso de precipitación de 10 ml. En un vaso de precipitación se agrega 177,5 mg de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ y 88,75 gr Na_2SO_3 ; se agita con

una varilla hasta tener una mezcla homogénea y de color rojizo. Posterior a esto se agrega 0,35ml de ácido oleico y se coloca en un agitador-calentador magnético, durante 7 minutos, hasta obtener una temperatura de 55°C y 5000 rpm. Luego se agrega 60ml de Na(OH) y se mantiene la agitación magnética y la temperatura por una hora, logrando que se combinen todos los elementos de las NPMs.

Para la purificación de la muestra se empleó un imán de neodimio de campo magnético de 0,2 T, atrayendo las partículas hacia el fondo del vaso de precipitación para la posterior remoción del sobrenadante. Se realizan varios lavados con agua destilada de las NPMs.

Las muestras obtenidas de material nanoparticulado, fueron caracterizadas por medio de: espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR), permitiendo verificar la presencia de magnetita en cada una de las muestras, y microscopía electrónica de barrido (SEM) para identificar las propiedades morfológicas de las poblaciones de NPMs de hierro.

Análisis Estadístico.

Para determinar la variabilidad en el tamaño de las NPMs, se establecieron como parámetros controlables: la concentración del reactivo, la temperatura de ebullición y el tiempo de agitación. En función de estos parámetros, se constituyeron 10 tratamientos considerando límites superiores e inferiores (tabla 1). Para la concentración se estableció un límite superior e inferior de 98 y 80 mg respectivamente; mientras que, para la temperatura se tomó como límite inferior 35°C y como límite superior 80 °C. El tiempo de agitación se relacionó directamente con la temperatura, tomando tiempos lo suficientemente cortos para que la muestra no se evapore en su totalidad y así se puedan combinar todos los reactivos.

Tabla 1. *Tratamientos y Parámetros controlados en las muestras de NPMs.*

Parámetro Tratamientos	Concentración de Reactivo (mg)	Tiempo de Agitación (min)	Temperatura de Ebullición (°C)
T1	80	3	35
T2	82	4	40
T3	84	5	45
T4	86	6	50
T5	88	7	55
T6	90	8	60
T7	92	9	65
T8	94	10	70
T9	96	11	75
T10	98	12	80

Mediante el diseño completamente al azar se compara las poblaciones de NPMs mediante la hipótesis de igualdad de medias. Para lo cual, se considera como factor de estudio los tratamientos que están formados en función de los parámetros controlables (la concentración del reactivo, la temperatura de ebullición y el tiempo de agitación), obteniendo como variable respuesta el tamaño de las NPMs (Medero, 2002). Si los tratamientos propuestos tienen un

efecto el tamaño de las NPMs se puede describir con el modelo estadístico lineal (1), lo que implica que el diseño completamente al azar actúa en dos fuentes de variabilidad: los tratamientos y el error aleatorio. Posteriormente se realiza un análisis de comparación entre tratamientos utilizando el método LSD, para determinar cuáles de los 10 tratamientos utilizados en el experimento son significativamente diferentes.

Para conseguir un valor representativo, cada muestra tuvo 100 datos que comprueben los tamaños de las NPMs.

Diseño experimental.

Ho: $\mu_1=\mu_2=\mu_3=\mu_4=\mu_5=\mu_6=\mu_7=\mu_8=\mu_9=\mu_{10}$

H1: No todas las medias son iguales al menos 2 son diferentes.

Modelo Estadístico Lineal.

$$Y_{ij} = \mu - \alpha_i - \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

Dónde:

Y_{ij} : es el j-ésimo Tamaño de las NPMs en el i-ésimo tratamiento.

μ : es el Tamaño de las NPMs.

α_i : es el efecto del i-ésimo Tratamiento en el Tamaño de las NPMs.

ε_{ij} : es el error aleatorio asociado a la medición del j-ésimo tamaño de las NPMs en el i-ésimo tratamiento.

Para que los resultados obtenidos en el análisis de varianza tengan validez deben cumplir con los supuestos del modelo:

- * k poblaciones normales con media μ_1, \dots, μ_k .
- * Las k poblaciones tienen varianza constante.
- * Las k poblaciones son independientes.

Mediante el uso del programa R, se realizó el test de Shapiro-Wilk para normalidad. Para el supuesto de Homogeneidad se utilizó la Prueba de Bartlett, considerando las hipótesis:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2 \quad H_1: \sigma_i^2 \neq \sigma_j^2 \quad i \neq j$$

Para el supuesto de independencia se usó como método analítico el contraste de Durbin-Watson. Y una vez que, se verificó el cumplimiento de los supuestos del modelo estadístico, se realizó un ANOVA para establecer la existencia o no, del efecto de los tratamientos en el tamaño de las NPMs. También se utilizó el Método LSD para comparar los tratamientos y determinar cuáles son estadísticamente diferentes (Gutierrez & De La Vara, 2010).

Resultados.

Caracterización de Nanopartículas Magnéticas de Hierro.

Mediante el uso de Espectroscopia FT- IR, se determinó la afectación de los parámetros controlables en la síntesis, esto se puede observar en la figura 1, donde el tratamiento 10 muestra una notable intensidad espectral, mientras que, el tratamiento 5 expone una intensidad similar a la reportada por Gómez, en el 2011 (Gómez et al, 2011). Además, pese a que el tratamiento 1 exhibe una intensidad baja, ésta presenta picos característicos de la magnetita (Urquijo, 2007).

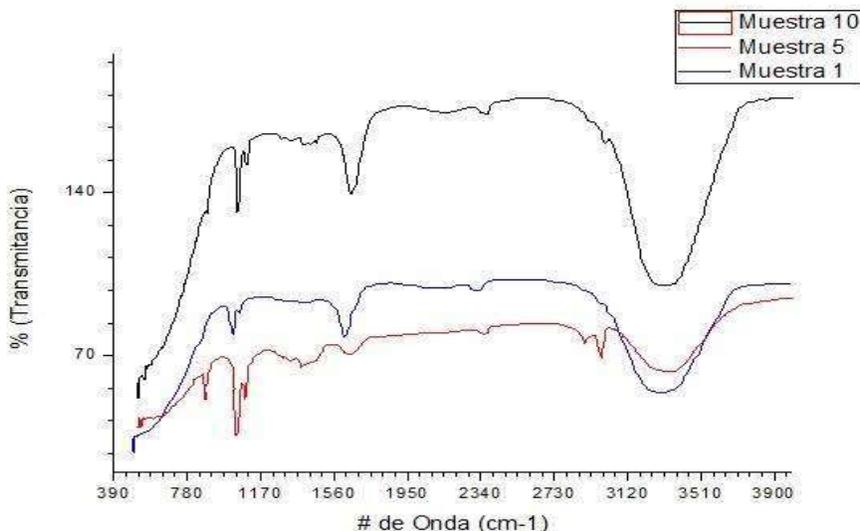


Figura 1. Intercomparación de espectros de los tratamientos. Tratamiento 1 (80mg, 3 min, 35°C); Tratamiento 5 (88mg, 7 min, 55°C); Tratamiento 10 (98mg, 12 min, 80°C).

Mientras que con el uso del Microscopio Electrónico de Barrido (SEM por sus siglas en inglés), se obtuvo imágenes claras de las poblaciones de NPMs. En estas imágenes se considerada 100 NPMs de cada tratamiento, para establecer la variación de tamaño según la manipulación de parámetros controlables, la Figura 2, según los tratamientos T1 (bajo), T5 (medio) y T10 (alto), revela que cuando mayor fue la concentración de reactivo, temperatura y tiempo de agitación empleados, mayor fue la cantidad de NPMs iguales o menores a 29 nm.

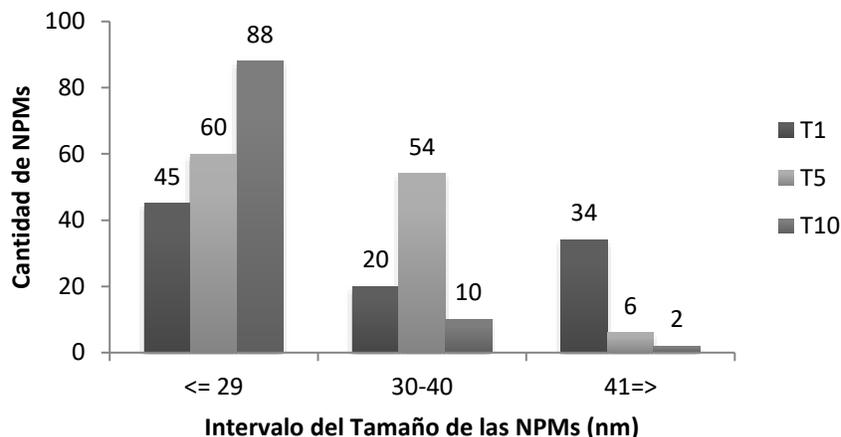


Figura 2. Población de NPMs en intervalos de tamaños.

Análisis Estadístico.

Mediante el método analítico de Shapiro-Wilk se analizó la normalidad de los residuos, obteniendo un valor estadístico $W=0,9757$ con un $p\text{-value} = 0,704$. Como $p\text{-value} > 0,05$ se concluye que los datos proceden de una distribución normal y presenta un nivel de confianza del 95%. La Figura 3, muestra que se cumple la normalidad ya que los residuos provienen de una distribución normal.

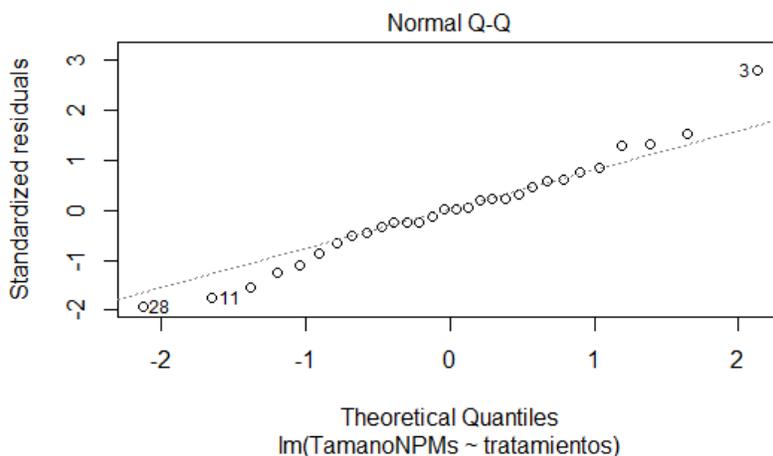


Figura 3. Distribución normal de tratamientos.

En la Figura 4, se presenta los resultados de la prueba de Bartlett para homogeneidad de varianzas, se obtuvo el valor Bartlett's K-squared de 17,402 y un $p\text{-value}=0,06278$, lo que nos indica homogeneidad en los datos.

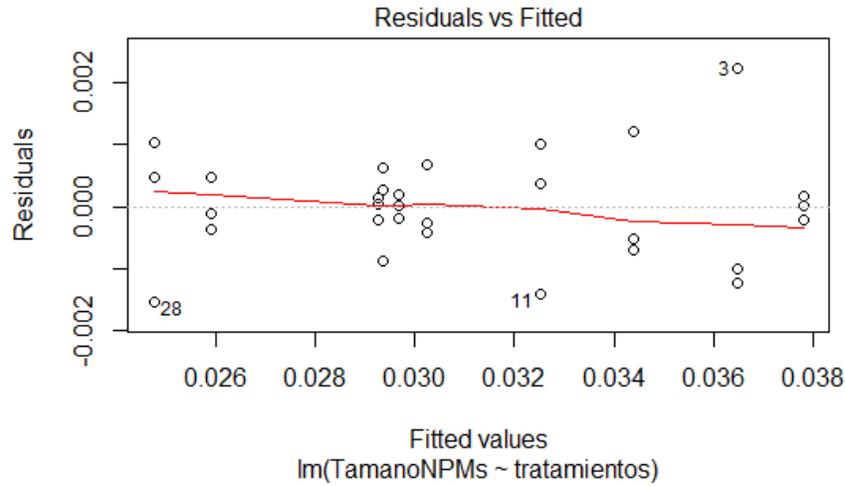


Figura 4. Homogeneidad de Varianzas de tratamientos.

La prueba de Durbin-Watson arroja un valor DW= 2,4819 y un p-value=0,3336, lo que muestra que los datos son independientes, es decir no existe autocorrelación, esto se presenta en la Figura 5.

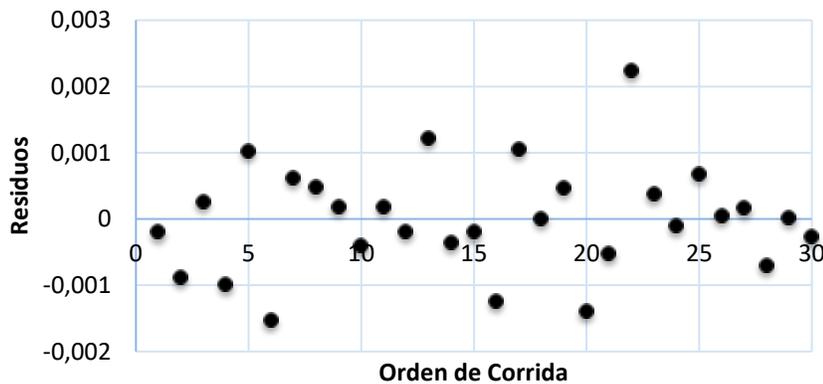


Figura 5. Independencia de la variable aleatoria residuos.

Luego de establecer el cumplimiento de todos los supuestos, comprobando entonces, que los parámetros del modelo tienen criterios de calidad, se realizó un ANOVA (tabla 2). En el análisis de varianza para determinar si los tratamientos muestran diferencias significativas, se obtuvo un valor $Pr(>F)$ de $2,74E-12$, que siendo menor que el nivel de significancia de 0,05, decimos que el factor Tratamiento tiene un efecto en el tamaño de las NPMs de Fe (variable respuesta).

Tabla 2. Análisis de Varianza

FV	DF	SUM SQ	MEAN SQ	F VALUE	Pr(>F)
----	----	--------	---------	---------	--------

Tratamientos	9	0.0004891	5.434e-05	56.87	2.74e-12 ***
Residuos	20	0.0000191	9.600e-07		

Signif. codes:		0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.' 0.1 ' ' 1

La prueba de rangos múltiples o comparaciones, realizada a través del Método LSD, arrojó un valor de 0,00166487, que comparado con las medias de cada uno de los tratamientos, determina cuáles son estadísticamente diferentes. La tabla 3, muestra que de las 45 combinaciones realizadas entre tratamientos, únicamente entre T1-T2, T10-T9, T5-T6, T5-T7, T5-T8, T6-T7, T6-T8 y T7-T8, no existe diferencia estadística significativa.

Tabla 3. *Análisis de Comparación por el Método LSD*

Tratamientos	Diferencia	pvalue	signif
T1 - T10	1,17E-04	0.0000	***
T1 - T2	-1,33E-03	0.1121	
T1 - T3	2,08E-03	0.0168	*
T1 - T4	3,96E-03	0.0001	***
T1 - T5	7,12E-03	0.0000	***
T1 - T6	6,23E-03	0.0000	***
T1 - T7	6,81E-03	0.0000	***
T1 - T8	7,22E-03	0.0000	***
T1 - T9	1,06E-04	0.0000	***
T10 - T2	-1,30E-04	0.0000	***
T10 - T3	-9,63E-03	0.0000	***
T10 - T4	-7,75E-03	0.0000	***
T10 - T5	-4,59E-03	0.0000	***
T10 - T6	-5,48E-03	0.0000	***
T10 - T7	-4,90E-03	0.0000	***
T10 - T8	-4,49E-03	0.0000	***
T10 - T9	-1,14E-03	0.1698	
T2 - T3	3,41E-03	0.0004	***
T2 - T4	5,28E-03	0.0000	***
T2 - T5	8,45E-03	0.0000	***
T2 - T6	7,56E-03	0.0000	***
T2 - T7	8,14E-03	0.0000	***
T2 - T8	8,55E-03	0.0000	***
T2 - T9	1,19E-04	0.0000	***
T3 - T4	1,87E-03	0.0293	*
T3 - T5	5,04E-03	0.0000	***
T3 - T6	4,15E-03	0.0000	***
T3 - T7	4,73E-03	0.0000	***
T3 - T8	5,14E-03	0.0000	***
T3 - T9	8,49E-03	0.0000	***
T4 - T5	3,17E-03	0.0008	***
T4 - T6	2,28E-03	0.0098	**
T4 - T7	2,85E-03	0.0019	**
T4 - T8	3,26E-03	0.0006	***
T4 - T9	6,62E-03	0.0000	***
T5 - T6	-8,90E-02	0.2780	

T5	-	T7	-3,13E-02	0.6988	
T5	-	T8	9,67E-01	0.9048	
T5	-	T9	3,45E-03	0.0003	***
T6	-	T7	5,77E-02	0.4783	
T6	-	T8	9,87E-02	0.2307	
T6	-	T9	4,34E-03	0.0000	***
T7	-	T8	4,10E-02	0.6131	
T7	-	T9	3,76E-03	0.0001	***
T8	-	T9	3,35E-03	0.0004	***

Discusión.

En el esquema en cascada presentado en la Figura 1, de los tratamientos 1, 5 y 10, se puede evidenciar una notable intensidad espectral en la muestra del T10; debido a que ésta tiene mejores características posteriores a su síntesis y un bajo nivel de oxidación (Kadokia., 2008). Mientras que la muestra del T5, que corresponde al estándar, expone una intensidad similar a las presentadas en otras investigaciones (Gómez, 2011). La similitud en los resultados en éste tratamiento, nos permite demostrar que con la aplicación adecuada del método, en este caso, la manipulación de las condiciones de síntesis, se puede permitir el control racional de la morfología de las partículas (Zanella, 2012). Finalmente, la muestra correspondiente al T1, presenta nivel de intensidad más bajo, pero a pesar de esto se pudieron visualizar los picos de absorción característicos de la magnetita, pero con intensidades menores en sus componentes (Morales, 2007).

El SEM nos proporcionó imágenes claras de la cristalización de las NPMs magnéticas, donde se pudo observar la aglomeración de las NPMs, evidenciando su naturaleza magnética, típica de este tipo de nanocompuestos (Fernández, 2013; Daniel & Astruc, 2004). Además, se exhibió la pérdida de su propiedad de fluidez al momento de ser analizadas en el SEM, debido a la evaporación del medio portador. Las muestras analizadas a una distancia de 17 mm, con un aumento de 100 μm y una energía de 10 KV, presentaron la formación de cristales de magnetita con tamaños variables como los expuestos en la figura 2. Sin embargo, al tener altas poblaciones de NPMs menores a 29 nm y muy pocas superiores a 41 nm, bajo las condiciones de diseño experimental aplicadas, se puede deducir la elevada incidencia del método; además de las propiedades superparamagnéticas que estas adquieren cuando su tamaño es menor a 30 nm (Luciano et al., 2013).

La variación de tamaños indicada, se puede explicar por las condiciones del tiempo de agitación, lo que provoca que no exista uniformidad en el proceso de síntesis, además, los niveles de temperatura propician la acción del surfactante sobre las NPMs y que cause posibles uniones entre sí.

El cumplimiento de los supuestos, presentados en los resultados, donde, los errores son independientes (Figura 3); los errores están normalmente distribuidos con media cero y

varianza constante (Figura 4.); y de homogeneidad de varianza entre los tratamientos (Figura 5), validaron el análisis de varianza realizado. Esto indica que, el material experimental fue homogéneo y que la aplicación de la aleatorización fue apropiada (Castillo et al., 2011).

El análisis de varianza (ANOVA) mostrado en la tabla 3, indica que predomina la variabilidad debida a los tratamientos respecto a la variabilidad debida al error (Gutiérrez & De la Vara, 2008). Entonces, con el diseño del experimento completamente al azar, para determinar si la variación de tamaños (variable respuesta), depende del tratamiento, se identifica que estos tienen efecto, es decir, las medias son diferentes. Entonces, la necesaria aplicación de la prueba de rangos múltiples, captó la diferencia mínima entre los tratamientos; pudiendo determinar que existe un 74% de alta diferencia estadística significativa de las 45 comparaciones realizadas.

Conclusiones .

- Las Nanopartículas magnéticas (NPMs), fueron sintetizadas con éxito mediante el método de co-precipitación química bajo la modalidad de adsorción superficial, y se las caracterizó con el uso de técnicas espectroscópicas FT-IR, que permitió determinar la presencia de magnetita en función de los espectros obtenidos; y con el Microscopio electrónico de barrido (SEM), se pudo ver la estructura esférica tipo núcleo-corona, las poblaciones de tamaños y la composición química de las mismas.
- Para el análisis estadístico se incorporaron distintos procesos químicos, y se incluyó la variación de parámetros controlables como la temperatura, tiempo de agitación y concentración de reactivos; tomando en cuenta a los tratamientos (alto medio y bajo). Con esto se pudo visualizar la relación directa que existe entre las propiedades físicas y químicas de las NPs.
- Se determinó que existe un alto grado de diferencia estadística significativa entre cada uno de los tratamientos estudiados, lo cual es de gran importancia al momento de analizar el tamaño de las nanopartículas magnéticas de hierro.

Referencias bibliográficas.

Briones, P. R. (12 de Junio de 2016). *Nanopartículas Magnéticas para tratamiento y Diagnóstico de Cáncer*. Madrid - España. Obtenido de <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj4lfingOjaAhXqxIkKHcyUBKgQFgguMAA&url=http%3A%2F%2F147.96.70.122%2FWeb%2FTFG%2FTFG%2FMemoria%2FPAULA%2520RUIZ%2520BRIONES.pdf&usq=AOvVaw0sr9LfzNTazXGXs6yxjQ-R>

- Castillo, C., Mejía C., & Arévalo J. (2011). *Diseño de Experimentos al Completo Azar. Estadística, Matemática y Computación. Obtenido de* <http://reyesestadistica.blogspot.com/2011/07/disenno-de-experimentos-alcompletoazar.html>
- Castrillón, M. (2012). *Síntesis de nanopartículas magnéticas y su aplicación en nanocompuestos de matriz polimérica con propiedades magnéticas*. Departamento de Ingeniería Química y Tecnologías del Medio Ambiente. Universidad de Zaragoza.
- Cuadrado, C. (2017). *Repositorios ESPOCH*. Recuperado el 12 de Junio de 2018, de <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/6912>
- Daniel, M.-C., & Astruc, D. (2004). *Gold nanopartilces: Assembly, supramolecular chemistry, quantum-size-related properties, and applications toward biology, catalysis and nanotechnology*. Vol. 104 (1): 293-346. Chemical Reviews.
- Fernández., K. C. (2013). *Síntesis y caracterización de nanopartículas magnéticas*. Centro de Investigaciones en óptica. Argentina.
- Gómez López, P., González V, Garza M., & Esquive R. (2017). *Síntesis y caracterización de nanocompuestos de óxido de hierro en un polimero semiconductor*. Vol. 20(77):57-65. Ingenierías.
- Grande, A. H. (2007). *Nanotecnología y nanopartículas magnéticas: la física actual en lucha contra la enfermedad*. Vol. 101(2): 321-327. Rev.R.Acad.Cienc. Exact.Fís.Nat. España.
- Gutiérrez P., H. G. & De la Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. 2a Ed. Mexico: Mc Graw Hill.
- Kadokia, K. (2008). *Removal of Arsenic Contamination from Water Using Magnetite Nanoparticles*. The National High School Journal of Science. Retrieved from <http://nhsjs.com/2012/removal-of-arsenic-contamination-from-water-using-magnetite-nanoparticles/>
- López, J. L., Dias J. H., Paniago R., Paniago R., D. Pfannes H., & Balzuweit K. (2014). *Progresos en la preparación de nanopartículas magnéticas multifuncionales para aplicación en la medicina*. Vol. 10(2): 5-13. Revista ECI, Perú.
- Lu, A. H., Salabas, E. L., Schuth, F. (2007). *Magnetic nanoparticles: Synthesis, protection, functionalization, and applications*. *Angewandte Chemie Int. Ed.*, 46, 1222-1244.

- Luciano-Carlos, F., García-Einschlag, M., & González-Mártire, D. (2013), Applications of Magnetite Nanoparticles for Heavy Metal Removal from Wastewater. *Waste Water-Treatment Technologies and Recent Analytical Developments*. Retrieved from http://cdn.intechopen.com/pdfs/41219/InTech-Applications_of_magnetite_nanoparticles_for_heavy_metal_removal_from_wastewater.pdf Medero, M. A. (2002). *Curso-Taller Estadística Aplicada a la Investigación*. Nayarit.
- Urquijo M., J. P. (2007). *Síntesis de Nanopartículas Magnéticas y su Implementación en los Ferrofluidos*. Universidad de Antioquia. Facultad De Ciencias Exactas y Naturales. Medellín.
- Tartaj, P., Morales, M., González-Carreño, T., Veintemillas-Verdaguer, S., & Serna, C. (2005). *Advances in magnetic nanoparticles for biotechnology applications*. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 290, 28-34.
- Zanella R. (2012). *Metodologías para la síntesis de nanopartículas: controlando forma y tamaño*. México. *Mundo Nano*. Vol.5 (1): 69-81.

Para citar el artículo indexado.

Vera F., Ormaza R., Coello J., Yanchapanta V. & Gusqui S. (2018). Aplicación de un diseño experimental completamente al azar para determinar la variabilidad de tamaños en la síntesis de nanopartículas magnéticas de hierro. *Revista electrónica Ciencia Digital* 2(4), 140-153. Recuperado desde: <http://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/view/195/173>



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Ciencia Digital**.

El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Ciencia Digital**.



Análisis espacial de la tasa de mortalidad infantil. Implementación de modelos de regresión espacial.



Spatial analysis of the infant mortality rate. Implementation of spatial regression models.

Tulia Eva Salcedo Palacios.³³, Andrés Felipe Ortiz Rico³⁴

Recibido: 18-07-2017 / Revisado: 12-09-2018 Aceptado: 11-10-2018/ Publicado: 01-11-2018

Abstract.

DOI: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v2i4.1..196>

With the objective of being part of the Organization for Economic Cooperation and Development, OECD, Colombia has generated various public policies to reduce indicators of poverty, health, education, among others. One of the indicators that shows the quality of public health is the infant mortality rate, that is why some strategies have been strengthened in favor of its reduction; however, it is considered important to evaluate social inequality as an explanatory variable of the infant mortality rate in Colombia. In this research, a spatial analysis of the infant mortality rate in Colombia was carried out for 2016, in which it is sought to determine if there is spatial dependence, taking as delimited regions the municipalities of Colombia, this relationship is analyzed through the global and local Moran Index, finding clusters that determine spatial dependence at the municipal level. Finally, we estimate local and geographically weighted polynomial regression models using as covariables the prematurity rate, percentage of affiliates to the health regime and the Multidimensional Poverty Index. The implementation of these models managed to determine marked differences at the municipal level, which allows the recognition of high-risk areas; It is possible to generate programs that allow the reduction of infant mortality in these areas.

Keywords: Spatial analysis, infant mortality, spatial regression model.

³³ Universidad Santo Tomás, Departamento de. Ciencias Económicas y Administrativas, Facultad de Estadística, Bogotá, Colombia, tuliasalcedo@usantotomas.edu.co

³⁴ Universidad Santo Tomás, Departamento de. Ciencias Económicas y Administrativas, Facultad de Estadística, Bogotá, Colombia, andresortiz@usantotomas.edu.co

Resumen.

Con el objetivo de hacer parte de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, OCDE, Colombia ha generado diversas políticas públicas para reducir indicadores de pobreza, salud, educación, entre otros. Uno de los indicadores que evidencia calidad de la salud pública, es la tasa de mortalidad infantil, es por esto que se han fortalecido algunas estrategias en pro de su reducción, sin embargo, se considera importante a su vez evaluar la desigualdad social como variable explicativa de la tasa de mortalidad infantil en Colombia. En esta investigación se realizó un análisis espacial de dicha tasa en Colombia para el año 2016, en la cual se busca determinar si existe dependencia espacial, tomando como regiones delimitadas los municipios de Colombia, dicha relación es analizada mediante el Índice de Morán global y local, encontrando clúster que determinan dependencia espacial a nivel municipal. Finalmente se estiman modelos de regresión polinomial local y ponderado geográficamente usando como covariables la tasa de prematuridad, porcentaje de afiliados al régimen de salud y el Índice de Pobreza Multidimensional. La implementación de estos modelos logró determinar diferencias marcadas a nivel municipal lo que permite reconocer zonas de alto riesgo; pudiéndose generar programas que permitan la reducción de mortalidad infantil en dichas zonas.

Palabras Claves: Análisis espacial, mortalidad infantil, modelo de regresión espacial.

Introducción.

La tasa de mortalidad infantil (TMI) se valora como el cociente entre el número de infantes menores de un año sobre el total de nacidos vivos en este mismo periodo. El correcto cálculo de ésta permite al Estado determinar de manera asertiva proyectos de ley que garanticen suplir las necesidades de la población a nivel social y económico. En los países y regiones de menor desarrollo económico los registros de muertes son inexistentes o poco confiables (Ordoñez & Prieto, 2017), esto debido a los diferentes subregistros que se presentan a nivel hospitalario de nacidos vivos y muertes en el primer año de vida. Entre tanto, la mortalidad infantil (MI) se ha considerado como uno de los principales indicadores de desarrollo social y económico; específicamente, es un indicador del estado de salud general de la población (Castillo & Arocha, 2017), es por esto que en los últimos años el país ha tenido como objetivo gubernamental reducir la MI, con el fin de generar indicadores de salud pública más favorables. Para lograr lo anterior, se vienen desarrollando diversas políticas y estrategias en torno al tema; los avances obtenidos han sido mejorar la salud infantil en las diferentes regiones del país y crear programas de educación en salud a mujeres en estado de embarazo; sin embargo, en los últimos años se ha hecho más notorio las brechas entre algunas regiones más vulnerables versus otras que no están consideradas con esta condición (Mogollón, 2016). Como solución a los problemas relacionados con el registro de las estadísticas vitales se han

presentado diversas metodologías para analizar la TMI, en esta investigación se buscó abordar este importante tema haciendo implementación del análisis espacial referente a datos de áreas y empleando como covariables explicativas la tasa de prematuridad (TP), el porcentaje de afiliados al sistema de salud y el Índice de Pobreza Multidimensional (IPM), éste último como indicador estadístico que revela desarrollo social y mide las privaciones humanas.

Las causas de la mortalidad infantil son en su mayoría evitables. En Colombia, las más frecuentes están asociadas a la prematuridad, la presencia de anomalías congénitas e infecciones neonatales (Jaramillo, 2016), todas éstas son previsibles si se cuenta con educación y controles prenatales efectivos, además del acceso a un sistema de salud preparado para resolver cualquier complicación posparto. La prematuridad es una condición frecuente y es responsable de elevadas tasas de morbilidad y mortalidad, afectando de forma significativa los periodos gestacionales de mujeres que se hallan en desventaja social y económica (Ministerio de Salud y Protección Social., 2013). Así mismo, el peso al nacer es uno de los mejores predictores de la mortalidad infantil (Castro, Salas, Acosta, Delgado & Calvache, 2016). En Colombia, de acuerdo a estadísticas del Departamento Administrativo Nacional de Encuestas (DANE), para el año 2015, la tasa del bajo peso al nacer no se ha modificado y se mantiene alrededor del 9% y la prematuridad es del 19.3%.

Un ejemplo contrario a lo anteriormente descrito es Cuba, país que posee la tasa de mortalidad infantil más baja en Latinoamérica. Ésta está asociada al desarrollo social con prioridad de la salud y la educación, la implantación de un sistema nacional de salud que da cobertura al total a la población, un gran desarrollo de la atención primaria y la participación de la población mediante sus organismos en las tareas sanitarias (Lurán, Pinilla & Sierra, 2009). Estas condiciones favorables garantizan que el transcurso del embarazo en las mujeres tenga un seguimiento efectivo y que la mayor parte de los embarazos llegue a buen término, aspectos que son de relevancia para el análisis generado en la presente investigación.

Durante la audiencia pública de rendición de cuentas de 2015, el Ministro de Salud y Protección Social, Alejandro Gaviria Uribe, precisó que en consecuencia, la población cubierta al sistema de salud llegaba a la cobertura del 97.6%, los cuales el 44.5 % de la población total se encuentra afiliada al régimen contributivo, el 48.1 % al régimen subsidiado y el 5% a los regímenes especiales y de excepción (Ministerio de Salud y Protección Social., 2015), no obstante, los resultados del sistema actual han revelado una persistente dificultad para que las pacientes de escasos recursos económicos tengan un acceso expedito a los servicios de salud con calidad, en su defecto hay un deficiente servicio y un aumento en su costo total (Ortíz, Navarro & Eslava, 2013), además, aún se observa como día a día el acceso a la educación, a la alimentación y a los sistemas de salud de la población infantil es inequitativo y pareciese que la sobrevivencia de este grupo etario vulnerable, depende de la zona geográfica del país donde nace y vive (Restrepo, 2017).

La escasa equidad en el acceso de las mujeres y los niños a servicios de salud de calidad, hace evidente la diferencia tan significativa a nivel municipal; la solución no se encuentra en sólo disminuir la mortalidad infantil a nivel general, sino además a nivel municipal y garantizar un sistema de salud digno e incluyente. Con base a lo anterior, este estudio busca encontrar la relación espacial para describir el comportamiento que registra la TMI con respecto a la tasa de prematuridad (TP), proporción de habitantes del municipio afiliados a salud y el índice de pobreza multidimensional (IPM). El anterior análisis permite visualizar una dinámica a nivel municipal que sugiere relaciones de la MI con aspectos de índole social, lo que al futuro permitirá desarrollar políticas públicas más efectivas y que logren mejorar de manera sustancial la salud de las poblaciones más vulnerables.

En el presente artículo se realiza un análisis espacial de datos de área para determinar un patrón espacial e identificar agregaciones espaciales para la TMI a nivel municipal en Colombia para el año 2016. Se realiza un análisis exploratorio de los datos para describir y visualizar las distribuciones espaciales de la TMI, seguido se realiza un análisis de autocorrelación espacial para determinar en que zonas se presentan agrupaciones espaciales y finalmente un análisis confirmatorio de los datos mediante modelos de regresión ponderados geográficamente empleando como variables regresoras algunos indicadores de salud pública: la tasa de prematurez, porcentaje de afiliados a los regímenes de salud existentes y el Índice de Pobreza Multidimensional.

Materiales y métodos .

Se realizó un análisis espacial de datos de área para la TMI en Colombia para el año 2016, delimitando las regiones analizadas por los 1122 municipios de Colombia implementado la utilización de software de sistemas de información geográfica (SIG) de uso libre QGIS. Se determinan clúster con mayor afectación de la TMI y se proponen tres modelos de regresión polinómica local y ponderada geográficamente usando como variables regresoras como la tasa de prematuridad, porcentaje de afiliados al régimen de salud y el Índice de Pobreza Multidimensional (IPM), dichos análisis se realizaron mediante el uso del software SIG GeoDa.

Datos.

La mayoría de las muertes en menores de cinco años se han considerado como inequitativas, puesto que reúnen características evitables e inadecuadas. Así mismo, la tasa de mortalidad infantil es un indicador que refleja las condiciones de salud y desarrollo de los países, y evidencia el nivel de prioridad que dan los gobiernos al derecho a la salud (Ministerio de Salud y Protección Social, 2016).

Se emplea para el análisis de esta investigación información de defunciones correspondientes a la consolidación, codificación de causas de muerte, validación y procesamiento realizado

por el DANE, según las Estadísticas Vitales, a partir de los certificados de defunción físicos o digitales diligenciados por médicos para el año 2016 (DANE, 2017). Se determina la tasa de mortalidad infantil, como el número de defunciones de menores de cuatro años durante 2016 sobre el número de nacidos vivos en el mismo año y se representa por cada 1000 habitantes.

Un neonato se considera prematuro si ha nacido vivo antes de se hayan cumplido las 37 semanas de gestación.

Las complicaciones relacionadas con la prematuridad son la principal causa de defunción en los niños menores de cinco años. Para el 2015 se generaron aproximadamente un millón de muertes a nivel mundial, se calcula que tres cuartas partes de éstas son evitables si se cuenta con un sistema de salud capaz de subsanar de manera inmediata las complicaciones de estos partos (Organización Mundial de la Salud, 2018).

Para el análisis de esta variable se tomó a consideración las estadísticas vitales del número de nacimientos fetales menores a 37 semanas del año 2016 con respecto del número total de nacimientos a término de este año y se estandariza por cada 1000 habitantes.

Por otra parte, se emplea el número de afiliados al sistema de salud para el año 2016, sea régimen subsidiado o contributivo, respecto de la proyección municipal realizada por el DANE, los datos sobre el total de afiliados se encuentra en datos abiertos del Ministerio de Salud. Finalmente se aplica el Índice de Pobreza Multidimensional, desarrollado en la Universidad de Oxford, que utiliza microdatos de encuestas de hogares para su cálculo, donde cada miembro de una familia es clasificado como pobre o no pobre dependiendo de 5 factores analizados: vivienda, salud, educación, trabajo, juventud y niñez.

El IPM surge como respuesta a la necesidad de contar con una medida de pobreza con el propósito de hacer un diseño y seguimiento a la política pública.

De igual manera, la posibilidad de realizar un análisis profundo de múltiples dimensiones de la pobreza diferente al ingreso, hizo del IPM un instrumento útil para reflejar las privaciones que debe enfrentar un hogar en Colombia, y por ende ideal para el seguimiento de la normativa actual (DANE, 2017).

Este indicador nos permitió realizar comparaciones a nivel municipal, con el fin de medir carencias básicas en las distintas poblaciones analizadas en esta investigación.

El análisis exploratorio de datos espaciales se realizó con el sistema de información geográfica libre y de código abierto QGIS que permitió visualizar la información geoespacial de la TMI, mientras que el análisis de autocorrelación espacial global y local, al igual que el modelamiento espacial propuesto con las variables regresoras se realizó con el software libre GeoDa desarrollado por el Dr. Luc Anselin y su equipo.

Tanto QGIS como GeoDa ofrecen al investigador un programa con una interfaz gráfica fácil y práctica para realizar análisis de datos espaciales.

Análisis espacial.

La estadística espacial se divide en tres áreas, la implementación adecuada de cada una de ellas depende exclusivamente de las características de la información que se desea analizar, para los datos regionales que se quieren describir en este artículo es pertinente realizar un análisis basado en datos de áreas; ya que es un proceso estocástico con un espacio de parámetros discretos donde se tiene una selección de los sitios de medición, es decir los municipios de Colombia, éstas unidades de muestreo pueden ser o no igualmente espaciadas.

El análisis estadístico de datos de área busca como objetivo la determinación de una estructura de autocorrelación espacial. La noción de autocorrelación espacial de estas variables está asociada con la idea de que valores observados en áreas geográficas adyacentes serán más similares que los esperados bajo el supuesto de independencia espacial (Giraldo, Caballero & Camacho, 2018).

Para lo anterior se analizó con la proximidad Queen, con lo cual se determinó tener en cuenta todos los vecinos adyacentes para el análisis de la autocorrelación espacial. Una herramienta que define esta dependencia espacial es el Índice de Moran (IM) que permite definir la proximidad entre áreas y para el estudio local de estas agrupaciones se aplicó el Índice Local de autocorrelación Espacial (LISA), lo anterior se lleva a cabo por medio del cálculo de una matriz de proximidad espacial que son una función de la matriz de datos originales obtenidos por la proximidad de tipo Queen de donde dado un conjunto de áreas (A_1, A_2, \dots, A_n) se construye una matriz $W^{(I)}_{n \times n}$ donde cada elemento w_{ij} representa la proximidad de las áreas i, j .

Índice de Morán: En general, este índice se interpreta similar al coeficiente de correlación r empleado en modelos lineales, se acepta que existe autocorrelación espacial (AE) siempre que haya una variación espacial sistemática en los valores de una variable a través de un mapa, es decir un patrón en el comportamiento de la variable según la ubicación geográfica del dato. Sean (z_1, z_2, \dots, z_n) variables aleatorias medidas en n áreas. Existirá correlación espacial si los valores observados en áreas geográficas adyacentes serán similares a los esperados bajo el supuesto de independencia espacial. Para medir esta correlación se puede utilizar el índice de Moran definido como:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (z_i - \bar{z})(z_j - \bar{z})}{\sum_{i=1}^n w_i \sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2} \quad (1)$$

Donde w_{ij} representa la distancia entre dos centros si A_i comparte frontera con A_j entonces w_{ij} será 1, en otro caso será 0. Si los valores altos de una localización están asociados con valores altos en los vecinos, la autocorrelación espacial es positiva siendo la situación opuesta la de autocorrelación espacial negativa (Cepeda & Velásquez, 2004), para este estadístico es importante probar la hipótesis:

$$H_0 : I = 0 \quad \text{vs} \quad H_a : I \neq 0$$

Bajo el supuesto de normalidad se tienen los siguientes resultados:

$$E(I) = -\frac{1}{n-1} \quad \text{y} \quad \text{Var}(I) = \frac{(n^3 - n^2)S_1 + (n - n^2)S_2 + (2 - 4n)S_0^2}{(n^3 - n^2 - n + 1)S_0^2} \quad (2)$$

Donde

$$S_0 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \quad , \quad S_1 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (w_{ij} + w_{ji})^2 \quad \text{y} \quad S_2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (w_{i.} + w_{.j})^2 \quad (3)$$

Con lo cual el estadístico $\frac{I - E(I)}{\sqrt{\text{Var}(I)}}$ sigue una distribución normal estándar.

También es posible utilizar una prueba de permutaciones para verificar la hipótesis de interés probando la significancia del resultado obtenido de la siguiente manera:

- Se calcula el estadístico original I_0 .
- Se construye una permutación de los datos originales, un intercambio entre las áreas y los valores observados z_i .
- Se calcula el índice sobre la permutación I_p .
- Se repiten los pasos 2 y 3 y se estima el valor p de la prueba como el número de $I_p > I_0$ sobre el número de permutaciones.

Los procedimientos empleados para evaluar la significación estadística consisten en una simulación de Monte Carlo de diferentes arreglos de los datos y la construcción de una distribución empírica de estadísticas simuladas. Posteriormente, el valor obtenido originalmente se compara con la distribución de los valores simulados y si el valor supera el percentil 95, se dice que la relación encontrada es significativa al 5%.

Sin embargo, cuando se tiene un gran número de áreas, en esta investigación se emplearon 1122 áreas, es posible que existan diferencias en la asociación espacial. Para hacer frente a

esas diferencias espaciales se utilizó el Índice Local de Moran, conocido como el Índice Local de Autocorrelación Espacial (LISA) (Anselin, 1995).

Índice Local de Autocorrelación Espacial (LISA): Se propone un conjunto de indicadores locales de asociación espacial, LISA (“Local Indicators of Spatial Association”), capaces de detectar la contribución de cada región a un indicador de dependencia espacial global (Anselin, Florax & Rey, 2013), los indicadores LISA presentados para este trabajo serán basados en I de Morán. El índice local de Morán se expresa como:

$$I_i = \frac{(z_i - \bar{z})}{S_i^2} \sum_{j=1}^n w_{ij} (z_j - \bar{z}) \quad (4)$$

Donde

$$S_i^2 = \frac{\sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n w_{ij}}{n-1} - \bar{z}^2 \quad (5)$$

Su valor esperado y varianza están dados por:

$$E(I_i) = -\frac{\sum_{j=1}^n w_{ij}}{n-1} \quad \text{y} \quad \text{Var}(I_i) = \frac{w_{i(2)}(n-b_2)}{n-1} + 2w_{i(kh)} \quad (6)$$

Con ellos se puede probar la significancia a nivel local con el estadístico $\frac{I_i - E(I_i)}{\sqrt{\text{Var}(I_i)}}$ y la distribución normal estándar.

Modelos de regresión espacial: La primera idea para modelar datos espaciales consiste en incluir como covariables de un modelo que tenga en cuenta sólo datos de georreferenciación, empero esta técnica no tiene en cuenta el valor de las áreas vecinas. Una forma de explorar la variación espacial es a partir del cálculo de la variable rezagada espacialmente, la cual se construye como un promedio ponderado del valor de la variable en los vecinos:

$$z_i^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_{ij} z_i, \quad \text{con } w_{ij} = 1 \text{ ó } w_{ij} = 0 \quad (7)$$

Un mapa de z_i^* permite tener menor variabilidad entre los valores mientras que un gráfico de dispersión entre z_i y z_i^* permitirá analizar la dependencia espacial existente en los datos. Los modelos para datos espaciales pueden ser vistos como análogo a los modelos AR y MA en series de tiempo, estos incluyen como información auxiliar, la información de Z o de los residuales ε en áreas vecinas. La forma general del modelo autoregresivo espacial SAR es:

$$Z = X\beta + \lambda W(Y - X\beta) + \varepsilon \quad (8)$$

Donde:

- W es la matriz de proximidad.
- λ es el peso para el componente espacial (escalar).
- Si $\lambda = 0$ no existe dependencia espacial.

Del modelo SAR se puede ver que:

$$\begin{aligned}
 (Z - \lambda WZ - X\beta + \lambda WX\beta) &= \varepsilon \\
 (I - \lambda W)(Z - X\beta) &= \varepsilon \\
 (Z - X\beta) &= (I - \lambda W)^{-1} \varepsilon \\
 Z &= X\beta + (I - \lambda W)^{-1} \varepsilon
 \end{aligned} \quad (9)$$

Se puede denotar de lo anterior que la $(I - \lambda W)$ tiene que ser invertible. Si W es simétrica y está estandarizada por filas se garantiza la invertibilidad para todo $\lambda \in (0, 1)$ Por lo tanto:

$$E(Z) = X\beta \quad \text{y} \quad \text{Var}(Z) = (I - \lambda W)^{-1} \text{Var}(\varepsilon) (I - \lambda W)^{-1} \quad (10)$$

Con lo cual el modelo puede ser visto como un modelo lineal con una estructura particular para la matriz de varianza covarianza, que considera la cercanía especial entre las áreas. Para la estimación de parámetros se pueden utilizar por máxima verosimilitud iterando de la siguiente forma:

1. Estimar β por MCO del modelo $Z = X\beta + \varepsilon$
2. Estimar $\text{Var}(\varepsilon)$ y λ maximizando la verosimilitud con β del paso anterior
3. Estimar β por MCG $\hat{\beta} = (X' \hat{\text{Var}}(\varepsilon) X)^{-1} X' \hat{\text{Var}}(\varepsilon) Z$

4. Repetir 2 y 3 hasta obtener convergencia de $\hat{\beta}$, $\hat{Var}(\varepsilon)$ y $\hat{\lambda}$.

Para explicar la TMI en Colombia, se analizaron tres modelos: modelo clásico estimando los parámetros por mínimos cuadrados ordinarios (MCO), el modelo rezagado espacialmente, el cual asigna una estructura de autocorrelación a los residuales de un modelo de regresión lineal descrito así, estimando los parámetros por máxima verosimilitud:

$$Z = \rho WZ + X\beta + \varepsilon \quad (11)$$

Por último, se implementó un modelo lineal con errores correlacionados donde:

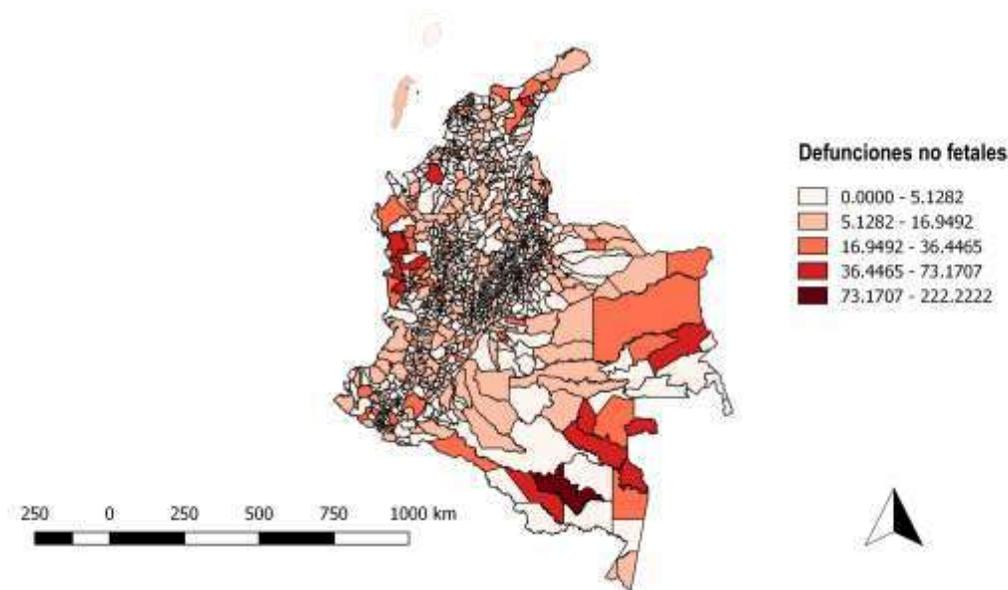
$$\begin{aligned} Z &= X\beta + \nu \\ \nu &= \lambda W_\nu + \varepsilon \end{aligned}$$

Resultados.

El método de clasificación para la creación de los mapas cloropéticos es de rupturas naturales, o método de pausas naturales y se emplea ya que busca reducir la varianza dentro de las clases y maximizar la varianza entre las mismas; es decir, para cada segmentación los datos son muy homogéneos dentro del grupo pero muy heterogéneo entre ellos.

Los municipios con mayor tasa de mortalidad infantil fueron San Juan del Cesar (La Guajira), Jericó (Antioquia), Yavaraté (Vaupés), Puerto Santander, Bojayá, Alto Baudó (Chocó), Pacoa (Amazonas) y California (Santander). Los municipios con la mayor tasa de mortalidad por prematuridad fueron: Abriaquí, Heliconia (Antioquia), Puerto Santander (Chocó), Pana Pana (Guainía), Palmar, San Cristóbal (Santander), Mirití Paraná (Amazonas) (Figura 1).

TASA DE MORTALIDAD INFANTIL (TMI) POR CADA 1000 HABITANTES



TASA DE PREMATURIDAD (TP) POR CADA 1000 HABITANTES

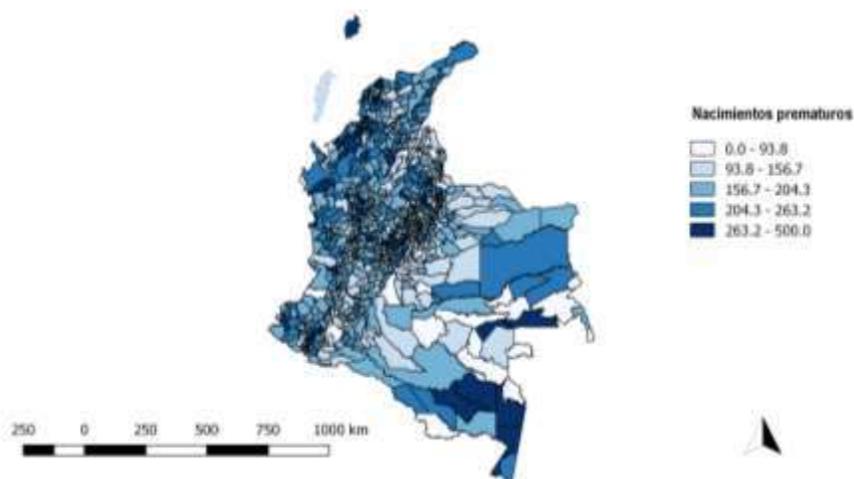


Figura 1. Comparativo TMI y TP por municipio en Colombia para el año 2016. Fuente (DANE, 2017). Elaboración propia.

Respecto de los habitantes afiliados a un sistema de salud se denota que en el departamento de Amazonas se evidencia un gran porcentaje de personas que no se encuentran inscritas a este servicio básico. Esto mismo aconteció en Guainía y parte del departamento de Vaupés (Figura 2), donde su mayoría de población son pueblos indígenas, la cual es considerada una población vulnerable en Colombia.



Figura 2. Porcentaje de afiliados al sistema de salud por municipio en Colombia para el año 2016. Fuente (Ministerio de Protección Social, 2017). Elaboración propia.

Para el análisis del IPM se denota que para el año tomado los índices de pobreza en Colombia eran muy altos, en particular, se identifica un elevado índice de pobreza en la zona de Nariño, Amazonas, Vichada, Chocó y Guajira, comparando esto con el mapa de mortalidad, se identifica una concentración similar (Figura 3), lo que vislumbra una idea del comportamiento de la TMI respecto de estas regiones. Aquellos municipios con índices cercanos a 1 indican niveles de pobreza altos, indicando que los habitantes de esto municipios no tienen forma de subsanar sus necesidades básicas o de primera necesidad.

ÍNDICE DE POBREZA MULTIDIMENSIONAL (IPM)

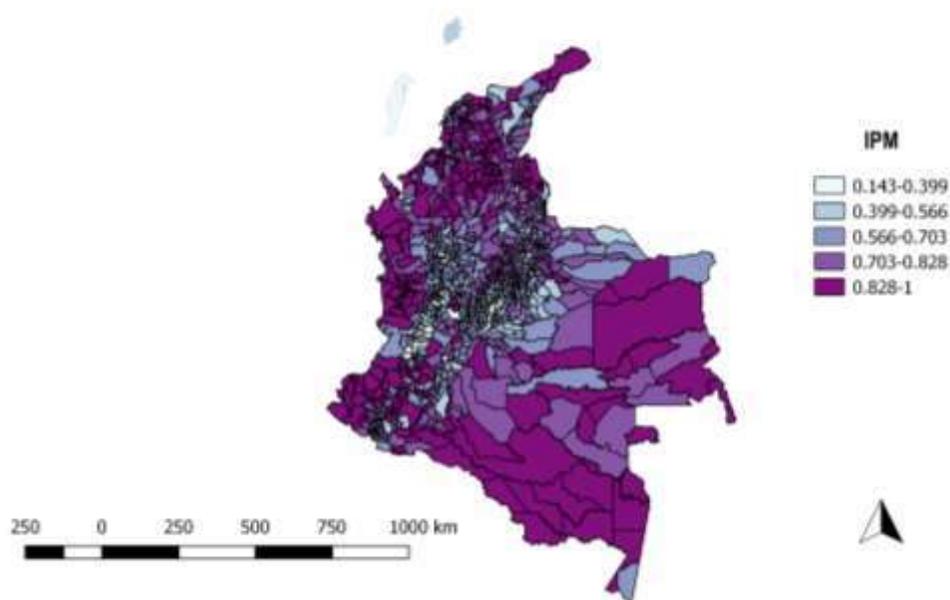


Figura 3. Índice de Pobreza Multidimensional por municipio en Colombia para el año 2016. Fuente (DANE, 2017). Elaboración propia.

Los índices de aleatoriedad espacial permiten relacionar la dependencia entre localizaciones. La estructura de esta aleatoriedad se compone de una matriz de pesos espaciales, que se puede calcular por diferentes métodos.

Se realizan cuadrantes y se determina en el caso de los ocho vecinos una contigüidad tipo Queen de primer orden donde se analiza la influencia que ejerce un punto i sobre sus vecinos contiguos (Figura 4). Adicionalmente, se realizan las pruebas para el método de Rook de orden 1 y orden dos, el cual tiene en cuenta los cuadrantes en forma de cruz; los resultados obtenidos fueron más bajos por lo que se decide realizar el trabajo con el I de Morán basado en el método de Queen.

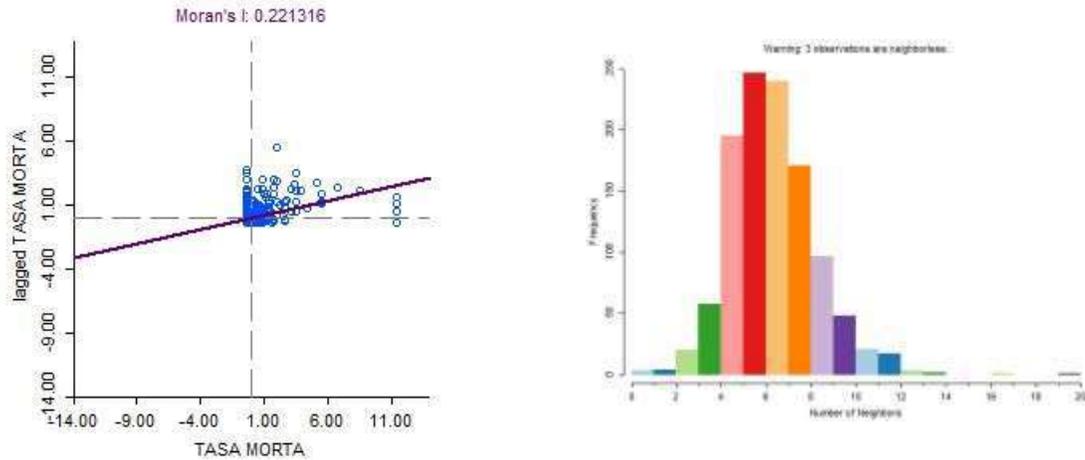


Figura 4. Índice de Pobreza Multidimensional por municipio en Colombia para el año 2016. Fuente (DANE, 2017). Elaboración propia.

El valor global del I de Morán y su valor esperado pueden ser calculados por medio de un proceso de aleatorización a través de permutaciones, la prueba se realizó con 999 de éstas, arrojando un valor de 0.221316, además al realizarse la prueba de permutaciones, el pvalor fue de 0.001, por tanto se rechaza la hipótesis nula aceptando la alternativa (Figura 5). Existe autocorrelación espacial en la tasa de mortalidad infantil en Colombia para el año 2016.

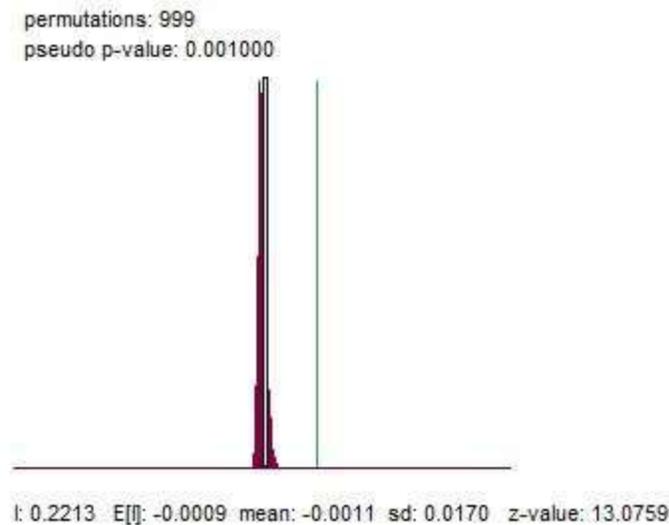


Figura 5. Prueba de permutaciones (999 permutaciones). Elaboración propia.

Una vez se haya seleccionado el método para determinar los pesos espaciales se realizó un análisis local a través de indicadores de asociación espacial local (LISA). Con este procedimiento se evalúa la hipótesis de aleatoriedad espacial comparando los valores del indicador (TMI) en cada municipio con los valores correspondientes de los municipios vecinos. Se observa que el departamento del Vichada, parte de Arauca, Vaupés, Amazonas,

Chocó y Guajira presentan altas tasas de mortalidad infantil, exhibiendo un problema no sólo a nivel municipal sino a su vez departamental (Figura 6).

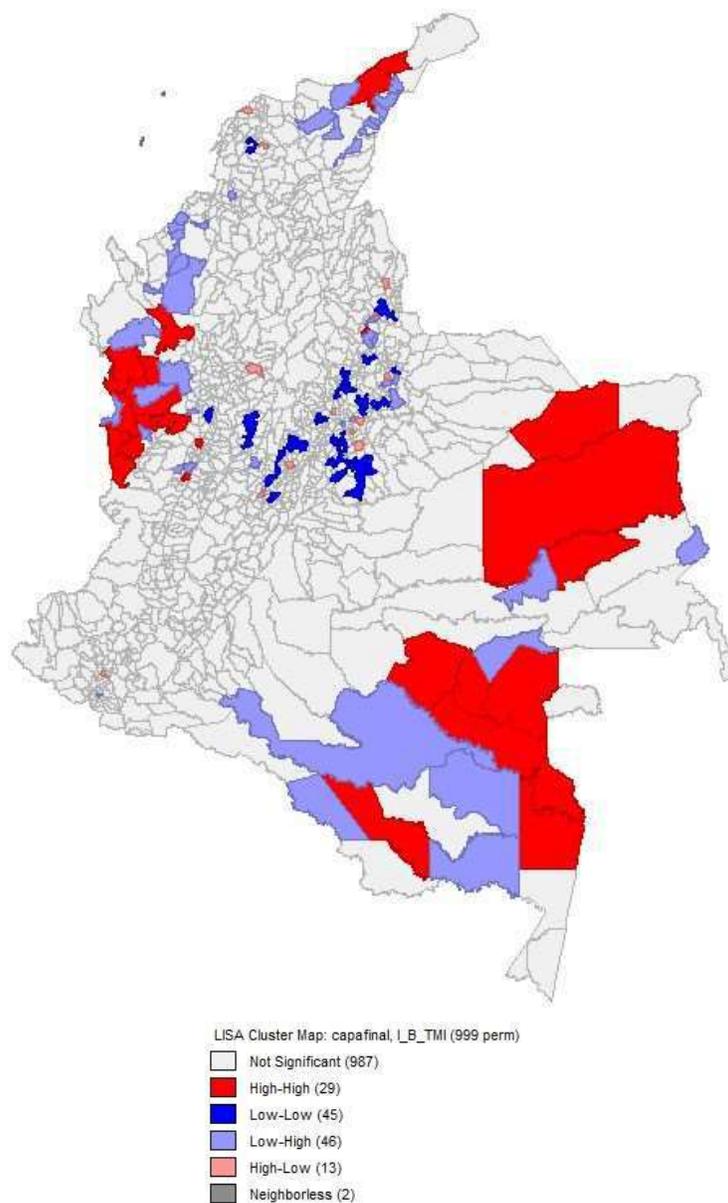


Figura 6. Mapa Clúster LISA para la TMI por municipio. Elaboración propia.

Se continuó explorando la información de las unidades espaciales por medios de los mapas de significancia, los cuales mostraron la probabilidad de que las relaciones de proximidad

sean aleatorias. Por otra parte, se observa que la relación significativa se presenta en el sur y oriente del país en los departamentos de Amazonas, Vichada, Guaviare y parte de Arauca. Existen dos municipios que no pudieron ser analizados debido a las distancias que hay entre ellos y sus vecinos más cercanos, por lo que éste estudio no fue posible extenderlo a las islas de San Andrés y Providencia.

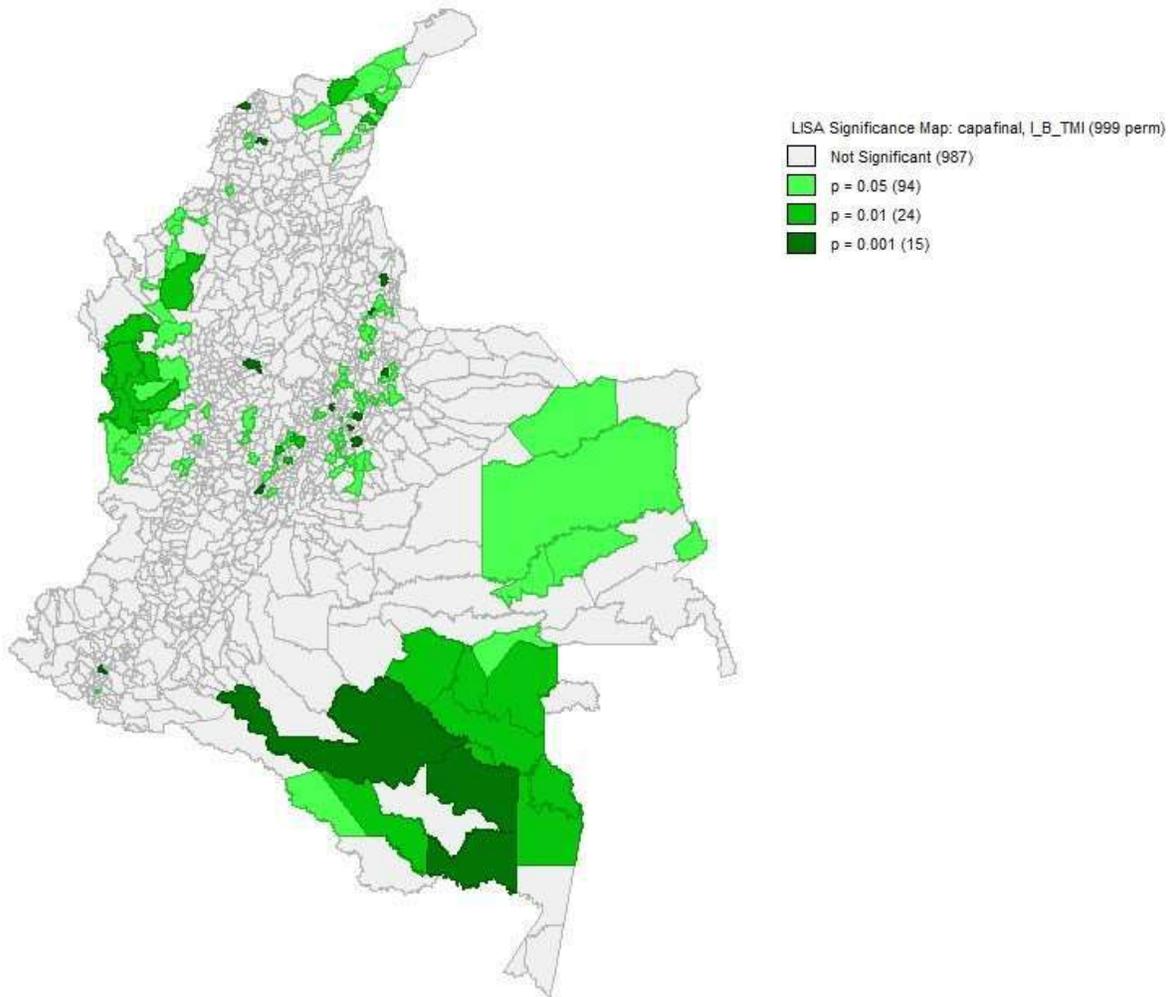


Figura 7. Mapa significancia LISA para la TMI por municipio. Elaboración propia.

La inferencia mediante modelos de regresión espacial es poco usada esto debido a que una proximidad espacial puede hacer que los elementos estudiados compartan características y esto haga que tengan comportamientos similares (Fang, Liu, Li, Sun, & Miao 2015), aunque en recientes investigaciones sociales se ha implementado como una herramienta de análisis útil y clara, permitiendo visualizar fenómenos antes no descritos. En algunos modelos de regresión espacial es importante determinar si hay autocorrelación espacial en los residuos, por el supuesto de independencia y no correlación. Cuando los residuales se encuentran

correlacionados es importante determinar las variables significativas del modelo y de ser posible existen modelos de regresión que permite modelar la autocorrelación espacial.

La técnica de regresión más conocida es Mínimos Cuadrados Ordinarios (OLS), permitirá crear una ecuación de regresión simple para representar la TMI en función de las variables aquí propuestas. Los resultados obtenidos por el método de mínimos cuadrados ordinarios (Tabla 1), mostraron un r^2 muy bajo (0.0074), el modelo da cuenta que la tasa de mortalidad aumenta conforme incrementa la tasa de prematuridad y el IPM, y a su vez el porcentaje de afiliados aumenta disminuye la TMI.

Tabla 1. Resultados modelo OLS.

Variable	Coefficiente	Error estándar	Probabilidad
Constante	3.93	2.36	0.095
B_IPM	0.40	2.06	0.846
B_SALUD	-2.24	1.73	0.195
B_TP	0.015	0.006	0.008

Nota. Resultados obtenidos implementando el software GeoDa.

Se denota que hay autocorrelación espacial en los residuales por lo que se hace necesario estimar un modelo que controle este supuesto, una alternativa son los modelos de rezagado espacialmente (SAR) y los modelos de error espacial.

Para el modelo rezagado espacialmente se obtuvieron resultados similares, resaltando que los pesos cuentan con un coeficiente de 0.24, determinando que es relevante el rol de la estructura de los vecinos cercanos, el r^2 es más alto de 0.04 y el AIC disminuyó a 8568. La constante da positiva la cual es una observación a determinar en el modelo, se puede realizar sin constante, ya que no es significativa para ninguno de los modelos propuestos. (Tabla 2)

Tabla 2. Resultados modelo rezagado espacialmente (SAR).

Variable	Coefficiente	Error estándar	Probabilidad
W_B_TMI	0.24	0.04	0.000
Constante	3.43	2.32	0.140
B_IPM	-1.53	2.06	0.448
B_SALUD	-1.13	1.70	0.507
B_TP	0.012	0.006	0.018

Nota. Resultados obtenidos implementando el software GeoDa.

En el modelo del error espacial se denota un r^2 de 0.47 y unos coeficientes acordes a lo que se consideraba sucedería en el caso de mortalidad infantil aquí tratado. En este modelo la constante es positiva, pero al igual no significativa (Tabla 3).

Tabla 3. Resultados modelo de error espacial.

Variable	Coficiente	Error estándar	Probabilidad
Constante	6.03	2.69	0.024
B_IPM	-4.99	2.41	0.038
B_SALUD	0.33	1.84	0.859
B_TP	0.013	0.006	0.036
LAMBDA	0.282	0.043	0.000

Nota. Resultados obtenidos implementando el software GeoDa.

Discusión.

Uno de los mayores problemas que se tiene en Colombia para determinar indicadores de mortalidad infantil es la estimación de la tasa a partir de las estadísticas vitales, es por esto que algunos autores (Ordoñez & Prieto, 2017) proponen realizar una estimación indirecta de la misma. Por otra parte, (Ruiz & Durán, 2013) propusieron el uso de estos registros para realizar un análisis temporal y determinaron mediante un estudio geoestadístico una estimación de dicha tasa. En esta investigación se buscará determinar si es posible explicar la tasa de mortalidad infantil en Colombia por aquellos neonatos que fallecen a causas de bajo peso al nacer, la desatención a nivel salud por municipio y la poca accesibilidad a la satisfacción de las necesidades básicas de la población.

Se evidencia una alta tasa de mortalidad infantil en los departamentos de La Guajira, algún área de los Llanos Orientales, parte del Chocó y Putumayo; departamentos donde históricamente se han presentado las tasas más altas de mortalidad infantil. Desde el análisis exploratorio se puede denotar un patrón geográfico similar para la tasa de prematuridad. Una de las complicaciones presentes en esta investigación, es que en diversas poblaciones de Colombia no se lleva un registro sistemático de los nacimientos, pues en general, los niños de hogares más pobres, rurales y cuyas madres tienen un bajo nivel de escolaridad enfrentan mayores riesgos de no contar con su partida de nacimiento (Bernal & Forero, 2011). Por otra parte, en algunas poblaciones rurales o con comunidades indígenas se realizan partos en un ámbito extrahospitalario, por lo que no se registra el fallecimiento del neonato, ni se determina su causa de muerte. Adicionalmente, para algunos municipios se encontró que habían más afiliados al sistema de salud que habitantes, así como también se logró evidenciar que hay municipios que presentan un porcentaje nulo de afiliación, es decir, ningún habitante del municipio se encuentra registrado a cualquiera de los dos regímenes de salud en Colombia. Dada la relevancia del tema estudiado, se espera que los datos de la TMI en un futuro Colombia sean tratados con toda la tecnicidad posible, a fin de determinar políticas directas que minimicen en lo posible las muertes de niños durante los primeros años de vida. Una de las opciones son los modelos de análisis de tipo espacial aquí analizados que evidencian las regiones donde se focaliza con más intensidad esta problemática.

La metodología aplicada del Índice de Morán midió la autocorrelación global de los municipios de Colombia y el comportamiento de la TMI respecto de las áreas vecinas; el

resultado obtenido señala que la autocorrelación fue positiva pero no significativa, por tanto fue necesario estimar los clúster espaciales empleando el método LISA, calculado con 999 permutaciones el proceso de aleatorización y una matriz de pesos de proximidad espacial calculados por la metodología Queen. El mapa de significancia determinó que es significativa la relación espacial para la mayoría del territorio de los departamentos de Amazonas, Vichada, Chocó y La Guajira con un nivel de significancia menor a 0.05, para el caso especial de Amazonas y Vichada donde el p valor de la prueba es muy bajo. En este caso, existen estudios recientes que sugieren que la dinámica social, económica, ambiental, cultural, política y epidemiológica de los municipios fronterizos es diferente y que dichos aspectos pueden tener un impacto importante en la MI (Mogollón, 2016).

Las variables regresoras, prematurez, IPM y afiliados al sistema de salud, se determinaron bajo el estudio retrospectivo de corte trasversal (Jaramillo, 2016), que empleó estadísticas vitales e información de registros de afiliación al sistema de salud. Lo anterior, permitió inferir que dichas variables influían en la tasa de mortalidad infantil; para las variables biológicas, el peso al nacer es un factor determinante en la supervivencia del niño haciendo de la prematurez la principal causa de mortalidad infantil y finalmente el factor socioeconómico tiene una influencia en la TMI, el cual se midió con el IPM por ser más exigente y determinar mejor la calidad de vida frente al Índice de Desarrollo Humano (IDH), el cual únicamente mide el ingreso que recibe cada individuo. En esta investigación se encontró bajo el modelo de error espacial que hay una relación espacial de tipo rezagado espacialmente entre estas covariables, ya que presenta el mejor r^2 de los tres modelos propuestos.

En Colombia, la falta de equidad en el acceso de las mujeres y los niños a servicios de salud de calidad implica la diferencia tan marcada a nivel municipal, la solución se encuentra en no sólo disminuir la mortalidad infantil a nivel general, sino además a nivel municipal garantizar un sistema de salud digna e incluyente que permita en estas regiones identificadas como de alto riesgo, focalizar programas que permitan la reducción de la mortalidad infantil.

Referencias bibliográficas.

- Anselin, L., Florax, R., & Rey, S. J. (Eds.). (2013). *Advances in spatial econometrics: methodology, tools and applications*. Springer Science & Business Media.
- Anselin, L. (1995). *Local indicators of spatial association—LISA*. *Geographical analysis*; 27(2), 93-115.
- Bernal-Acevedo, O., & Forero-Camacho, J. C. (2011). *Sistemas de información en el sector salud en Colombia*. *Revista Gerencia y Políticas de Salud*, 10(21).

- Castillo Guzmán, A., & Arocha Mariño, C. (2017). *La salud pública en Cuba a pesar de la crisis económica internacional*. Infodir (Revista de Información para la Dirección en Salud), 13(24), 100-109.
- Castro-Delgado, Ó. E., Salas-Delgado, Í., Acosta-Argoty, F. A., Delgado-Noguera, M., & Calvache, J. A. (2016). *Muy bajo y extremo bajo peso al nacer*. *Pediatría*, 49(1), 23-30.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Página oficial del DANE [Internet]. Defunciones fetales. 2016; 2017 [citado el 21 de agosto de 2018]. Recuperado a partir de: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/salud/nacimientos-y-defunciones/defunciones-fetales/defunciones-fetales-2016>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Página oficial del DANE [Internet]. Colombia – Índice de pobreza multidimensional – IPM – 2015; 2017 [citado el 14 de agosto de 2018] Recuperado a partir de: http://formularios.dane.gov.co/Anda_4_1/index.php/catalog/392
- Fang, C., Liu, H., Li, G., Sun, D., & Miao, Z. (2015). *Estimating the impact of urbanization on air quality in China using spatial regression models*. *Sustainability*, 7(11), 15570-15592.
- Giraldo, R., Caballero, W., & Camacho-Tamayo, J. (2018). *Mantel test for spatial functional data*. *AStA Advances in Statistical Analysis*, 102(1), 21-39.
- Jaramillo M. (2016). *Situación de la mortalidad infantil en Colombia*. [Tesis de Doctorado]. Granada: Universidad de Granada; 293 p.
- Lurán, A., López, E., Pinilla, C., Sierra, P. (2009). *Situación de la mortalidad por causas reducibles en menores de cinco años, Colombia, 1985-2004*. *Biomédica* [revista en Internet]. [citado 2018 agosto 22]; 29 (1): 98-107.
- Ministerio de Salud y Protección Social - Colciencias. Guía de práctica clínica del recién nacido prematuro. Guía No. 04. Centro Nacional de Investigación en Evidencia y Tecnologías en Salud CINETS; 2013. [citado el 21 de agosto de 2018]. Recuperado de: http://gpc.minsalud.gov.co/gpc_sites/Repositorio/Conv_500/GPC_rnp/gpc_rnp.aspx.
- Ministerio de Salud y Protección Social. Página Oficial del Ministerio de Salud y Protección Social [Internet]. En 2015 aumentó en 990.385 personas el número de afiliados al sistema de salud; 2016 [citado el 28 de agosto de 2018]. Recuperado a partir de: <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/En-2015-aumento-en-990.385-personas-el-numero-de-afiliados-al-sistema-de-salud.aspx>

Ministerio de Salud y Protección Social. Análisis de situación de salud (ASIS) Colombia, 2016. Dirección de Epidemiología y Demografía; 2016 [citado el 29 de julio de 2018] Recuperado de: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/ED/PSP/asis-colombia-2016.pdf>

Mogollón Pastrán, S. C. (2016) *Mortalidad infantil: causas y determinantes sociales en municipios fronterizos de Colombia, estudio ecológico de análisis y tendencia*. [Tesis de Doctorado]. Universidad Nacional de Colombia–Sede Bogotá, 119 p.

Ordoñez, K. A., & Prieto, J. E. R. (2017). *Estimación indirecta de la tasa de mortalidad infantil en Colombia, 1964-2008*. Revista del Banco de la República, 87(1036), 13-38.

Organización Mundial de la Salud. Página oficial [Internet]. Nacimientos Prematuros; 2018 [citado el 15 de agosto de 2018] Recuperado a partir de: <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/preterm-birth>

Ortiz, G. D., Navarro-Vargas, J. R., Eslava-Schmalbach, J. (2013) *Inequidad en el sistema de salud: el panorama de la analgesia obstétrica*. Revista Colombiana de Anestesiología, 41(3), 215-217.

Restrepo, N. (2017). *La salud infantil en Colombia: un problema de inequidad*. Rev. Médica Sanitas, 20(2), 64-66

Santacruz, J. S. R., & Gil, C. A. D. (2013). *Análisis espacial multitemporal de la tasa de mortalidad infantil municipal en Colombia* (No. 012670). DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADISTICA-DANE.

Para citar el artículo indexado.

Salcedo T. & Ortiz A. (2018). Análisis espacial de la tasa de mortalidad infantil. Implementación de modelos de regresión espacial. *Revista electrónica Ciencia Digital* 2(4), 154-175. Recuperado desde:
<http://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/view/196/174>



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Ciencia Digital**.

El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Ciencia Digital**.

