

Fecha de presentación: septiembre, 2016

Fecha de aceptación: noviembre, 2016

Fecha de publicación: Diciembre, 2016

METODOLOGÍA

PARA EL ANÁLISIS DE CORRELACIÓN Y CONCORDANCIA EN EQUIPOS DE MEDICIONES SIMILARES

METHODOLOGY FOR CORRELATION AND CONCORDANCE ANALYSIS ON EQUIPMENT OF SIMILAR MEASUREMENTS

MSc. Gretel Martínez Curbelo¹

E-mail: gmartinez@ucf.edu.cu

Dr. C. Manuel E. Cortés Cortés¹

E-mail: mcortes@ucf.edu.cu

MSc. Annia del C. Pérez Fernández¹

E-mail: acperez@ucf.edu.cu

¹Universidad de Cienfuegos. Cuba.

¿Cómo referenciar este artículo?

Martínez Curbelo, G., Cortés Cortés, M. E., & Pérez Fernández, A. C. (2016). Metodología para el análisis de correlación y concordancia en equipos de mediciones similares. *Universidad y Sociedad [seriada en línea]*, 8 (4). pp. 65-70. Recuperado de <http://rus.ucf.edu.cu/>

RESUMEN

En la presente investigación se diseña una metodología para el cálculo y análisis de la correlación y la concordancia, a partir de mediciones obtenidas en equipos que midan las mismas variables. Se incluye, además de los métodos tradicionales, el método de Bland Altman y se propone el uso de un coeficiente de estabilidad para mejorar la interpretación del mismo. La metodología es validada utilizando bases de datos con resultados de variables obtenidas de mediciones con diferentes equipos. Con la aplicación de la metodología se favorecen estos análisis en investigaciones estadísticas y se comprueba que el método Bland Altman puede ser aplicado en investigaciones de cualquier tipo en el que se busque el análisis de la concordancia y se cumpla con los supuestos del mismo.

Palabras clave: Metodología, correlación, concordancia, mediciones.

ABSTRACT

In this paper, a methodology is designed for calculating and analyzing correlation and concordance, obtained from measurements on equipment which measure the same variables. In addition of the traditional methods, it includes Bland Altman Method and proposes the use of a coefficient of stability to improve its interpretation. The methodology is validated using databases with results of variables obtained with different equipment measurements. With the application of the methodology these analyzes are favored in statistical research and it is demonstrated that Bland Altman Method can be applied in investigations of any type in which the analysis of the concordance is sought and the assumptions of the methodology are fulfilled.

Keywords: Concordance, correlation, measurements, methodology.

INTRODUCCIÓN

Para conocer los valores de las variables es necesario realizar un proceso de medición de las mismas. Mientras que algunas variables son relativamente sencillas de medir, otras se comportan con cierto grado de subjetividad que hace difícil su medición (Fernández & Díaz, 2011).

La calidad de una medida depende tanto de su validez como de su fiabilidad. Mientras que la validez expresa el grado en el que realmente se mide el fenómeno de interés, la fiabilidad indica hasta qué punto se obtienen los mismos valores al efectuar la medición en más de una ocasión, bajo condiciones similares. Por una medida ser muy precisa, esto no implica ser necesariamente válida.

En los estudios que tratan de evaluar la validez de una medida, se comparan sus resultados con los obtenidos mediante una prueba de referencia (gold standard), que se sabe válida y fiable para la medición del fenómeno de interés. "Cuando el objetivo se centra en la fiabilidad de una medición, se repite el proceso de medida para evaluar la concordancia entre las distintas mediciones" (Fernández & Díaz, 2011).

Una vez realizado el proceso de medición de las variables es necesario evaluar la relación entre estas. Una de las principales opciones de las que se dispone cuando se quiere evaluar la relación entre dos variables de tipo continuo, independientes entre sí, es calcular el coeficiente de correlación entre ambas variables, de alguna forma, se evalúa la tendencia de la relación entre ambas, generalmente lineal y existen estadísticos para evaluar las relaciones de una forma paramétrica y de otra no paramétrica.

La existencia de distintas formas de evaluación de la correlación y la concordancia, al igual que los inconvenientes que presenta su utilización en determinadas oportunidades, ya sea por el tipo de variable que se esté investigando, por el tipo de estudio a realizar o por el propio conocimiento del investigador, traen consigo que a veces los métodos que se utilice no sea el mejor.

Es por ello que surge la necesidad de elaborar una metodología, que permite de forma sencilla ir guiando el camino a seguir en dependencia del estudio que se quiere realizar y del tipo de variable en estudio.

DESARROLLO

Para el diseño de la metodología (ver figura 1) propuesto en la investigación se realiza un análisis de un grupo de coeficientes existentes para el cálculo de la correlación y la concordancia entre variables cualitativas y

cuantitativas, así como las aplicaciones más frecuentes que presentan los mismos. Una vez analizados se descartan aquellos métodos cuyos análisis responden a variables cualitativas. El estudio centra su objetivo en los resultados que arrojan los equipos de medición.

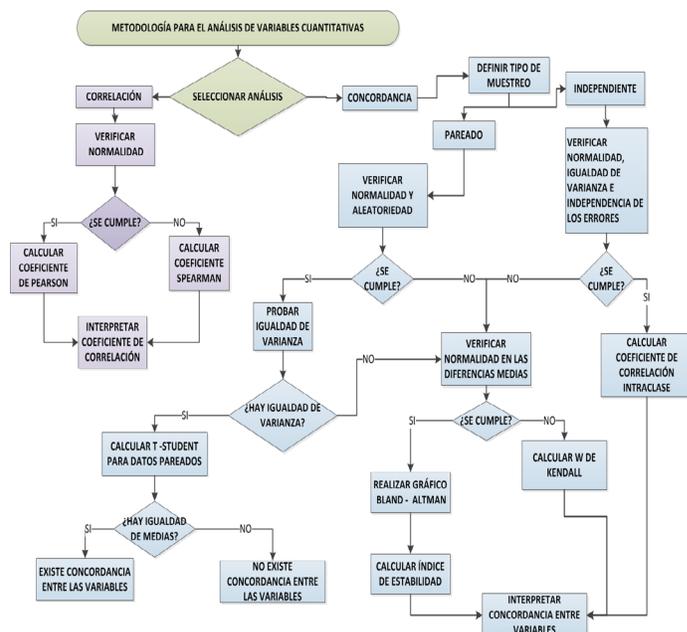


Figura 1. Metodología para el análisis de correlación y concordancia en variables cuantitativas.

Fuente: Elaboración propia.

El primer paso que propone la metodología es el estudio de la correlación para lo cual se expone como primaria verificar el supuesto de que los datos sigan distribución normal; de ello depende el coeficiente a utilizar. Si se comprueba la normalidad de los datos se utiliza para el análisis el Coeficiente de Correlación de Pearson correspondiente a la vertiente paramétrica de las medidas de asociación y es calculable siempre que ambas variables se distribuyan normalmente (Rodríguez, 1984). Encontrándose su estadístico representado por la siguiente expresión:

$$\rho_{x,y} = \frac{\sigma_{x,y}}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{E[(X - \mu_x)(Y - \mu_y)]}{\sigma_x \sigma_y} \quad (1)$$

Donde:

σ_{xy} es la covarianza de (X,Y)

σ_x es la desviaciones típicas de la variable X

σ_y es la desviaciones típicas de la variable Y

De no comprobarse la normalidad de los datos se remite a la utilización del coeficiente de Spearman que representa la vertiente no paramétrica de las medidas de

asociación (Bustillo, Acuña, Morena & Morales, 2003), siendo el estadístico ρ y está dado por la expresión:

$$\rho = 1 - \frac{6\sum d^2}{n(n^2 - 1)} \quad (2)$$

donde d es la diferencia entre los correspondientes estadísticos de orden x - y , y n el número de parejas.

Una vez obtenido el coeficiente adecuado en correspondencia con los datos a utilizar en el estudio, se interpretan los resultados donde valores próximos a 1 indicarán fuerte asociación lineal positiva. Valores próximos a -1 indican fuerte asociación lineal negativa. Valores próximos a 0 indicarán no asociación lineal, lo que no significa que no puede existir otro tipo de asociación.

El siguiente paso de la metodología radica en el estudio de la concordancia, en la que lo primero a definir es el tipo de muestreo a utilizar en el estudio. Es el caso de un muestreo pareado, se verifica la normalidad y aleatoriedad de los datos. En caso de cumplirse ambos se verifica la igualdad de varianzas. De existir la igualdad de varianzas se calcula T-Student para datos pareados y se verifica la igualdad de las medias, en caso de existir se dice que existe concordancia entre las variables de lo contrario, no se puede decir la existencia de concordancia entre las mismas.

Si el muestreo es pareado, se verifica la normalidad y aleatoriedad de los datos y no se prueba la igualdad de varianzas. Se investiga la existencia de normalidad en las diferencias de las medias, de comprobarse se aplica el método de Bland - Altman.

Así mismo el Método de Bland - Altman propone un procedimiento para determinar si dos métodos de medida X e Y concuerdan lo suficiente para que puedan declararse intercambiables (Morena & Morales, 2003; Bland & Altman, 2010; Fernández & Díaz, 2011; Bustillo, Acuña & Molinero, 2011). Se calcula, para cada individuo, la diferencia entre las medidas obtenidas con los dos métodos ($D = X - Y$). La media de estas diferencias ($\bar{x}-d$) representa el error sistemático, mientras que la varianza de estas diferencias (2sd) mide la dispersión del error aleatorio, es decir, la imprecisión.

Se ha propuesto utilizar estas dos medidas para calcular los límites de concordancia del 95% como $\bar{x}-d \pm 2\text{sd}$. Estos límites informan entre qué diferencias oscilan la mayor parte de las medidas tomadas con los dos métodos. Los valores deben compararse con los límites de concordancia que se hayan establecido previamente al inicio del estudio para concluir si las diferencias observadas son o no relevantes (Fernández & Díaz, 2011).

Para mejorar la interpretación del método de Bland-Altman se propone el uso de un coeficiente de estabilidad, se toma como referencia el citado por (Gutiérrez y De la Vara, 2005) que proporciona una medición de cuán inestable es un proceso, se identifica de esta manera aquellos que tengan puntos o señales especiales de variación.

Para el cálculo del coeficiente de estabilidad se considera la cantidad de puntos dentro de los límites de $\pm\sigma$ y de $\pm 2\sigma$. Se calcula el porcentaje de puntos fuera de los límites de control y se comparan con las probabilidades referentes para la distribución normal.

Se utiliza el 95 % como valor de referencia para tomar la decisión, este valor de 95 % representa la probabilidad de que un punto de una variable que sigue distribución normal, se encuentra dentro de dos sigmas.

$$\text{Índice de estabilidad (IE)} = \frac{\text{Cantidad entre } \pm 2\sigma}{\text{Cantidad total de puntos}} * 100 \quad (3)$$

La interpretación de la estabilidad de las diferencias en las comparaciones representa la concordancia, se utiliza un razonamiento porcentual para su obtención.

Cuando no se cumple la normalidad en las diferencias de las medias se remite a la utilización del Coeficiente de Kendall (W) que mide el grado de asociación entre varios conjuntos (k) de N entidades. Es útil para determinar el grado de acuerdo entre varios jueces, o la asociación entre tres o más variables.

El valor de W oscila entre 0 y 1. El valor de 1 significa una concordancia de acuerdos total y el valor de 0 un desacuerdo total. La tendencia a 1 es lo deseado se puede realizar nuevas rondas, si en la primera no es alcanzada la significación en la concordancia, su cálculo se realiza a través de la siguiente fórmula:

$$W = \frac{S}{\frac{1}{2}k^2(N^2 - N) - K\Sigma T} \quad (4)$$

Donde:

W : Coeficiente de concordancia.

K : Cantidad de expertos.

N : Cantidad de variables.

T : Factor de corrección.

S : Suma de los cuadrados de las desviaciones.

En el caso de utilizar un muestreo independiente, lo primero que se indica es la verificación de la normalidad, la igualdad de varianzas y la independencia de los errores cuyo cumplimiento deriva la utilización del Coeficiente de Correlación Intraclase (CCI).

El CCI existe para cuantificar la concordancia entre diferentes mediciones de una variable numérica y extiende su uso al caso en el que se dispone de más de dos observaciones por sujeto (Fernández & Díaz, 2011). Es un indicador de la fiabilidad de una sola medida determinado por la siguiente expresión:

$$\rho = \frac{Var(\pi)}{Var(\pi) + Var(\varepsilon)} \quad (5)$$

Donde:

ε : Error de medida

Los valores del CCI pueden oscilar entre 0 y 1, de modo que la máxima concordancia posible corresponde a un valor de CCI=1. Por otro lado, el valor CCI=0 se obtiene cuando la concordancia observada es igual a la que se espera que ocurra solo por azar.

De no cumplirse los supuestos para la utilización del CCI se verifica la normalidad de las diferencias de las medias y se prosigue con el procedimiento explicado con anterioridad.

Existen disímiles investigaciones en las que se utiliza el coeficiente de correlación de Pearson correctamente como la probabilidad de establecer una ecuación lineal entre dos variables, en la que por cada cambio de unidad en una de ellas se espera un cambio de unidad (correlativo) en la otra, sin tener en cuenta ni la magnitud ni la escala de medición de las variables comprometidas (Reyes, Romero & Duarte, 2010), muestra de ellos se refleja en Rodríguez (1984); Cosmea, Díaz, González, Puente, Álvarez & González (2002); y Peláez (2012).

En la literatura clínica hay una gran tradición de usar el coeficiente de correlación lineal (r) para evaluar la concordancia entre variables continuas (Bland & Altman, 2010; España. Consejería de Sanidad de la Comunidad de Madrid, 2010), ello es incorrecto: dicho coeficiente mide la correlación y no la concordancia. Es por ello que el surgimiento del Método de Bland & Altman ofrece mejores resultados en el análisis de la relación entre variables en este escenario en los cuales se han encontrado las mayores aplicaciones prácticas como son: Llano (1999); Cosmea, Díaz, González, Puente, Álvarez & González (2010); Marrodán, Pérez, Morales, Beneit, & Cabañas (2009); Moreno, Gandoy, González & Cámara (2010), no

existen referencias en cuanto al empleo de este método en otros escenarios como la producción y los servicios.

A pesar de ser la medida de concordancia más adecuada para el caso de variables numéricas, el CCI es poco utilizado en los estudios estadísticos en los que se emplean variables clínicas debido a la dificultad inherente a su cálculo y a la verificación de las hipótesis de que las variables deben estar distribuidas según una normal. La igualdad de varianzas e independencia entre los errores de cada observador, además de la carencia de este coeficiente de interpretación clínica en la literatura médica debido a que la obtención de una cifra que puede variar entre 0 y 1, expresan falta total de acuerdo (concordancia) o acuerdo perfecto, puede dar una falsa seguridad al clínico.

Esto ha propiciado la aparición de otros métodos de análisis, mucho más intuitivos y fácilmente interpretables como es el Método propuesto por Bland & Altman en el que la evaluación del acuerdo recae en el juicio clínico, ya que este método les permite incorporar su propia maestría y experiencia clínica en la decisión, además de que puede ser fácilmente entendido por personas sin formación estadística (Martínez, 2011).

Una desventaja que presenta el método de Bland Altman es que no proporciona una cifra numérica única y que, por lo tanto, la evaluación del acuerdo debe recaer finalmente en el juicio del evaluador.

Para el cálculo del coeficiente de estabilidad se considera la cantidad de puntos dentro de los límites de ± 2 . Se calcula el porcentaje de puntos fuera de los límites de control y se comparan con las probabilidades referentes para la distribución normal.

Para la distribución normal la probabilidad de que un punto se encuentra dentro de $\pm 2\sigma$ es de 95.4 %. Por lo tanto, se puede calcular el porcentaje de puntos observados que cumplen estas condiciones y se pueden comparar con los porcentos teóricos derivados de la probabilidad. De esta forma se tiene un valor numérico para realizar la decisión de la prueba, se evita de esta forma el problema de incertidumbre que ocurre al dejar este paso a la percepción de la persona que está realizando el estudio.

Según (Bland & Altman, 2010) la selección de los límites en $\pm 2\sigma$ está motivada por la aparición de errores de tipo 1 y tipo 2; si se selecciona límites de $\pm 3\sigma$ se aumenta la probabilidad de que un punto del gráfico esté dentro de los límites, pero está aumentando también la probabilidad de error tipo 2, algo contrario sucede si se toman los límites en $\pm 1\sigma$. En caso de que se quiera tener una estimación más exacta de los errores tipo 1 y tipo 2, se

deben construir las curvas características de operación (curvas CO). Para cada caso que se tienen y a partir de los resultados requeridos por el investigador se pueden variar los valores de los límites de control.

A medida que los tamaños de muestra aumentan le ocurre lo mismo a la confiabilidad del estudio y las curvas CO son más parecidas a la curva ideal. Lo que se grafica en el método de Bland & Altman es la diferencia entre las dos mediciones, por lo que, a medida que aumenta el tamaño de muestra la probabilidad de aceptar H_0 disminuye para un mismo valor de la diferencia.

La probabilidad de tener puntos fuera de los límites no depende del tamaño de muestra, como se puede ver en la fórmula siguiente:

$$P\{(x > \bar{x} + 2s) \cap (x < \bar{x} - 2s)\} = N\left(\frac{\bar{x} + 2s - \bar{x}}{s}\right) - N\left(\frac{\bar{x} - \bar{x} - 2s}{s}\right) = N(2) - N(-2) = 95.4\% \quad (6)$$

La validación del procedimiento se realiza mediante distintas bases de datos (Fernández & Díaz, 2011; Bland & Altman, 2010; Bustillo, Acuña, Morena & Morales, 2003; Gutiérrez y De la Vara, 2005), en los que se incluyen todos los tipos de variables previstas. Una vez aplicada se puede determinar la relación que existe entre los estudios de correlación y concordancia. Un resumen de los resultados que se obtienen puede verse en la siguiente tabla.

Tabla1. Resultados de la aplicación de la metodología propuesta a diversos casos de estudio.

Caso de estudio	Correlación		Concordancia	
	Resultados	Interpretación	Resultados	Interpretación
Presión Arterial	R = 0,9970	Fuerte	IE = 96,66%	Existe
Capacidad Pulmonar	R = 0,9748	Fuerte	IE = 90.62 %	No Existe
Flujo Respiratorio	R = 0,9435	Fuerte	IE = 88.88 %	No Existe
Corte de Hule	R = 0,8774	Fuerte	CCI = 86.1%	Existe
Iluminación de un Aula	R = 0,9421	Fuerte	IE = 86.6%	No Existe
Temperatura de la Leche	R = -0,101	Débil	IE = 100%	Existe

Fuente: Elaboración propia.

En la mayoría de los casos en los que se obtiene concordancia, existe una fuerte correlación. Sin embargo, en el último caso se comprueba concordancia y no existe correlación, esta situación muestra un contra ejemplo de la regla generalmente aceptada de que si existe concordancia debe existir correlación.

El método de Bland & Altman se utiliza en cinco de los seis casos de estudio, queda demostrada su utilidad, Los supuestos que se requieren son más fáciles de cumplir que los demás métodos de evaluación de la concordancia.

CONCLUSIONES

El método de Bland & Altman permite la obtención de la concordancia entre cualquier tipo de variable cuantitativa, siempre que las medias de las diferencias se distribuyan según la normal.

Con la utilización del coeficiente de estabilidad en el método de Bland Altman se tiene una mejor interpretación de este método.

La metodología propuesta favorece la obtención del cálculo del coeficiente de correlación y la obtención de la concordancia para estudios donde intervengan variables cuantitativas.

La metodología permite de forma sencilla ir guiando el camino a seguir en dependencia del estudio que se quiere realizar y de esta forma facilitararlo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez Cosmea, A., Díaz, V. F., González, L., Puente, P., Álvarez, J., & González, S. (2002). PROCAM y Framingham por categorías: ¿miden igual riesgo? MEDIFAM, 12(4), pp. 260-265. Recuperado de <http://scielo.isciii.es/pdf/medif/v12n4/original.pdf>
- Bland, J. M., & Altman, D. G. (2010). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement Bland – Altman. International Journal of Nursing Studies, 47 (8), pp. 931-936. Recuperado de [https://pure.york.ac.uk/portal/en/publications/statistical-methods-for-assessing-agreement-between-two-methods-of-clinical-measurement\(53a5b75c-912f-40bf-913b-6b3ed857244c\)/export.html](https://pure.york.ac.uk/portal/en/publications/statistical-methods-for-assessing-agreement-between-two-methods-of-clinical-measurement(53a5b75c-912f-40bf-913b-6b3ed857244c)/export.html)
- Bustillo, C., Acuña, E., Morena, R., & Morales, E. (2003). Estadística. La Habana: Félix Varela.

- Domingo, C., Canturri, E., Luján, M., Moreno, A., Espue-
las, H., & Marín, A. (2006). Medición transcutánea de
la presión parcial de anhídrido carbónico y de la satu-
ración de oxígeno: validación del SenTec. *Archivos de
Bronconeumología*, 42 (5), pp. 246-251. Recuperado
de [http://www.archbronconeumol.org/es/medicion-
transcutanea-presion-parcial-anhidrido/articulo-resu-
men/S0300289606706421/](http://www.archbronconeumol.org/es/medicion-transcutanea-presion-parcial-anhidrido/articulo-resumen/S0300289606706421/)
- España. Consejería de Sanidad de la Comunidad de Ma-
drid. (2010). Concordancia para variables continuas.
Madrid: Hospital Universitario Ramón y Cajal. Recu-
perado de: [http://www.hrc.es/investigacion/bioest/er-
rores_8.html](http://www.hrc.es/investigacion/bioest/errores_8.html)
- Fernández, P., & Díaz, S. (2011, Jun 23). *La fiabilidad de
las mediciones clínicas: El análisis de concordancia
para variables numéricas*. Recuperado de [http://www.
fisterra.com/mbe/investiga/conc_numerica/conc_nu-
merica.asp](http://www.fisterra.com/mbe/investiga/conc_numerica/conc_nu-merica.asp)
- Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2005). Control Estadístico
de la Calidad y Seis Sigma. México D. F: McGraw-Hill
Interamericana Editores.
- Llano, A. (1999). Consideraciones sobre la validación de
un termómetro auricular instantáneo por infrarrojos.
Anales Españoles de Pediatría, 50 (1), pp. 103-104.
Recuperado de [https://www.aeped.es/sites/default/
files/anales/50-1-27.pdf](https://www.aeped.es/sites/default/files/anales/50-1-27.pdf)
- Marrodán, M. D., Pérez, B., Morales, E., Beneit, G. S., &
Cabañas, M.D. (2009). Contraste y concordancia entre
ecuaciones de composición corporal en edad pediátri-
ca: aplicación en población española y venezolana.
Nutrición clínica y Dietética hospitalaria, 29 (3), pp.
4-11. Recuperado de [http://www.nutricion.org/publica-
ciones/revistas/Contraste_29_3.pdf](http://www.nutricion.org/publicaciones/revistas/Contraste_29_3.pdf)
- Martínez, G. (2011). Metodología para el análisis de corre-
lación y concordancia en variables estadísticas. Tesis
de Maestría. Cienfuegos: Universidad de Cienfuegos.
- Martínez, J. J., Lejeune, M., Ferré, L. E., Usach, M. T.,
Rojo, M. G., & Pablo, C. L. (2011). Análisis cuantitativo
de técnicas inmunohistoquímicas. Mejora de resul-
tados mediante aplicación de software de análisis de
imágenes digitales. VII Congreso Virtual Hispanoame-
ricano de Anatomía Patológica y I Congreso de Prepa-
raciones Virtuales por Internet. Recuperado de [http://
www.conganat.org/7congreso/PDF/285.pdf](http://www.conganat.org/7congreso/PDF/285.pdf)
- Moliner, L. (2011). Correlación y concordancia. Recupe-
rado de <http://www.seh-lelha.org/concor1.htm>
- Moreno, V. M., Gandoy, J. B., González, M. J., & Cámara,
A.G. (2003). Concordancia entre los porcentajes de
grasa corporal estimados mediante el área adiposa
del brazo, el pliegue del tríceps, y por impedancioma-
tría brazo – brazo. *Revista Española de Salud Pública*,
7 (3), pp. 4-11.
- Peláez, I. (2011). Métodos estadísticos para enfermería
nefrología. Recuperado de [http://www.revistaseden.
org/files/13-CAP%2013.pdf](http://www.revistaseden.org/files/13-CAP%2013.pdf)
- Reyes, E. C., Romero, J.A., & Duarte, H. G. (2010). Stati-
cals methods for evaluating diagnostic test agreement
reproducibility. *Revista Colombiana de Obstetricia y
Ginecología*, 60 (1), pp. 247-255.
- Rodríguez, S.A. (1984). Some comments on the use of
Pearson's coefficient as an index of interobserver
agreement. *Revista Mexicana de análisis de conducta*,
10 (2), pp. 137-160.