



¿CÓMO ESCOGER LA PRUEBA ESTADÍSTICA? MANEJO DE DATOS PARTE 2

How to choose the statistical test? Data management part 2

Villavicencio Caparó Ebingen *¹ - <https://orcid.org/0000-0003-4411-4221>

Lima Illescas Miriam ¹ - <https://orcid.org/0000-0001-6844-3826>

Cuenca León Katherine ¹ - <https://orcid.org/0000-0002-7816-0114>

Patiño Ramón Estefanía ¹ - <https://orcid.org/0009-0008-6134-0793>

Pacheco Quito Edisson ¹ - <https://orcid.org/0000-0002-6168-3218>

¹ Carrera de Odontología, Universidad Católica de Cuenca, 010101 Cuenca, Ecuador

* evillavicencioc@ucacue.edu.ec

RESUMEN

Objetivo: El objetivo del presente artículo es poner a disposición del personal de salud, un listado de pruebas estadísticas aplicables a investigaciones en el campo de la medicina basada en evidencia. **Materiales y métodos:** Las fuentes consultadas para este trabajo fueron libros de la estadística, artículos de revistas científicas indexadas, con ejemplos de investigaciones en ciencias de la salud. **Resultados:** Se encontraron 24 pruebas estadísticas con sus respectivas explicaciones de cuándo aplicar, cómo aplicar e interpretar los resultados; las que se agruparon en cuatro grandes grupos de familias de pruebas estadísticas y un grupo de pruebas emergentes, en base a la dirección de la naturaleza de la hipótesis planteada. **Conclusión:** Existen diversos métodos estadísticos que se pueden agrupar en cinco categorías.

Palabras clave: Análisis Multivariante, Estadística, Análisis de Datos.

ABSTRACT

Aim: The objective of this article is to make available to health personnel a list of statistical tests applicable to research in the field of evidence-based medicine. **Materials and methods:** The sources consulted for this work were statistical books, articles from indexed scientific journals, with examples of research in health sciences. **Results:** 24 statistical tests were found with their respective explanations of when to apply, how to apply and how to interpret the results; these were grouped into four large groups of families of statistical tests and a group of emerging tests, based on the direction of the nature of the hypothesis posed. **Conclusion:** There are several statistical methods that can be grouped into five categories.

Key words: Multivariate Analysis, Statistics, Data Analysis.

INTRODUCCIÓN

La estadística es una disciplina de la matemática que se encarga de la toma adecuada de los datos, la sistematización de estos, el reporte, el análisis y la interpretación de los mismos.

Existen 3 niveles de análisis estadístico, el primero es el análisis univariado¹, en el que el objetivo es reportar los estadísticos de las variables de manera individual con tablas de frecuencias y porcentajes si es una variable cualitativa y con estadísticos tipo medidas de centralización, dispersión, posición y forma en caso sea una variable cuantitativa.²

En el segundo nivel de análisis estadístico llamado bivariado, se analiza las asociaciones, relaciones y comparaciones entre variables, para realizar esto el investigador se vale de tablas de doble entrada llamadas también tablas de contingencia. En este nivel de análisis se utilizan las pruebas estadísticas de comparación de proporciones, comparación de promedios y/o correlación de variables, que se presentan en este artículo.³

En el tercer nivel de análisis estadístico llamado multivariante³, se tiene una variable dependiente y dos o más variables independientes. Este nivel de análisis en las investigaciones de salud basada en evidencia, tiene tres ventajas la primera, es que permite analizar el efecto de una variable independiente sobre la variable dependiente, controlando o ajustando el efecto de las covariables que no se pudieron controlar en el diseño del estudio; la segunda ventaja es que este nivel de análisis permite hacer pruebas estadísticas de varias variables a la vez, manteniendo al mismo tiempo la probabilidad de cometer error tipo I ($p < 0,05$).³ Y la tercera ventaja es la posibilidad de comparar por separado la capacidad de dos o más variables independientes para predecir los valores de la variable dependiente. Al respecto existen muchos textos de consulta, sin embargo, la forma de agrupar las pruebas estadísticas, desde la visión del usuario, es el aporte que pretendemos dar a la academia, con la finalidad de hacer más fácil la identificación de la estrategia estadística que debe usar el profesional de la salud al momento de realizar un estudio clínico.

Finalmente aparece un grupo de pruebas estadísticas emergentes, actualmente muy poco utilizadas en medicina basada en evidencia, que se llaman SEM-Modelo de ecuaciones estructurales, son técnicas estadísticas multivariadas, que integran ecuaciones lineales

para estimar las relaciones complejas de dependencia entre variables de diferentes grupos y para determinar el error de medida en la estimación. Se diferencian seis fases para el modelo SEM: especificación, identificación, estimación de parámetros, evaluación de ajuste, reespecificación y la interpretación.^{1,3}

El objetivo del presente estudio es presentar un listado de las pruebas estadísticas y métodos más utilizados, que sean de utilidad para el personal de salud al momento de planificar un estudio clínico.

ESTADO DEL ARTE

1. Intervalo de confianza

El intervalo de confianza (IC) es la prueba estadística inferencial que se aplica en estudios descriptivos, se utilizan con el fin de inferir los resultados desde una muestra hacia una población total. Los estadísticos calculados en la muestra se llaman estimadores y los estadísticos de la población se llaman parámetros; toda muestra tiene un margen de error, entre el valor de los estimadores y el de los parámetros, los IC describen esta variación de la dimensión obtenida en una muestra y la dimensión real de una población. Por esta razón es necesario conocer junto al estadístico muestral una medida del grado de confianza que esta tiene, usualmente es de 95%.⁴

La interpretación de los Niveles de Confianza se haría de la siguiente manera; la prevalencia de la muestra es 80%; se estima que en la población total la prevalencia fluctúa entre 79% a 81%, esto se puede afirmar con un 95% de confianza. (Figura 1)

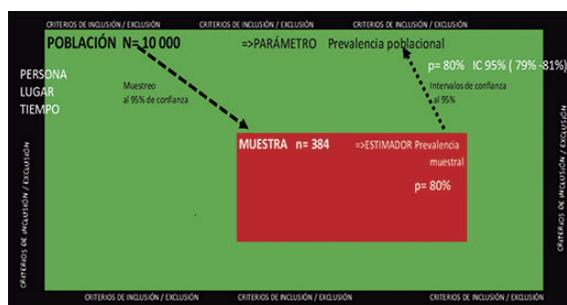


Figura 1. Esquema del diseño descriptivo con intervalos de confianza.

2. Comparación de proporciones

Antes de realizar cualquier prueba estadística es importante tener en cuenta en el diseño del estudio, que el tamaño de la muestra está estrechamente relacionado

con la posibilidad de detectar el tamaño del efecto de la variable estímulo y por consiguiente con la potencia del estudio. En ese sentido para poder utilizar una prueba estadística de manera adecuada y que el resultado de la prueba de hipótesis sea válido, se debe tener en cuenta tanto la confiabilidad (error tipo I) y la potencia del estudio (error tipo II).⁵

2.1 Chi cuadrado X^2

Las variables cualitativas, dan como resultado estadístico la categorización de las unidades de estudio en subgrupos. Por ejemplo: varones y mujeres; sanos y enfermos; éxitos y fracasos; pacientes de alta y pacientes en tratamiento. (Figura 2) La proporción de cada subgrupo se puede expresar en porcentaje. La prueba chi cuadrado (conocida también como Ji cuadrado) permite saber si la diferencia entre estas proporciones es estadísticamente significativa, cuando se usa de esta forma se le conoce como Prueba X^2 de homogeneidad de frecuencias.⁴



Figura 2. Grupos con proporciones.

Otra aplicación de la prueba X^2 es cuando se desea comprobar la asociación entre dos variables cualitativas, es decir si la variable que divide a la población en grupos (expuestos y no expuestos) es una característica, un hábito o una determinante de la salud, que se sospecha que está asociada con la mayor probabilidad de desarrollar la enfermedad, realmente genera una mayor proporción de enfermos y si esta es estadísticamente significativa.⁶

El Ji cuadrado (X^2) como se mencionó antes, sirve para asociar dos variables cualitativas e incluso más variables con tablas complejas, mientras se cumplan los supuestos necesarios para su aplicación; de tal modo que para ejemplificar vamos a trabajar con dos variables: acceso a servicios de salud (sí - no) y procedencia (urbano - rural).⁶

En donde vamos a determinar si: ¿El acceso a los servicios de salud está asociado a la procedencia de los usuarios? con un nivel de confianza del 95% y por lo tanto una probabilidad de error del 5% que es equivalente a $p = 0,05$.⁷

- En primera instancia se deberá plantear el sistema de hipótesis.
 - Ho: El acceso a los servicios de salud es independiente al tipo de procedencia de los usuarios (La hipótesis nula siempre indicará la independencia de las variables).
 - Ha El acceso a los servicios de salud es dependiente al tipo de procedencia de los usuarios (La hipótesis alternativa o del investigador).
- Como segundo paso se debe aplicar la prueba estadística a los datos.
- Finalmente se interpreta el resultado en función del valor de significancia (valor p), si el valor es igual o mayor a 0,05 aceptamos la Ho (las variables son independientes) si por el contrario el valor es menor a 0,05 rechazamos la hipótesis nula Ho y aceptamos provisionalmente la hipótesis del investigador (Ha), por lo que decidimos concluir que el acceso a servicios de salud depende del tipo de procedencia de los usuarios.

En esta familia de pruebas estadísticas tenemos:

- La prueba X^2 de Pearson es la prueba estándar que se usa cuando se utilizan unidades de estudio mayores a 5 en la tabla de contingencia.⁴
- La prueba X^2 de Yates se usa cuando al menos 1 celda de la tabla de contingencia tiene menos de 5 unidades de estudio.⁴
- La prueba X^2 de Fisher se emplea cuando la muestra es demasiado pequeña, es decir el 80% de celdas de una tabla de contingencia contiene unidades de estudio inferiores a 5.⁴
- La prueba X^2 de Mac Nemar se emplea cuando la tabla de contingencia contiene los datos del mismo grupo, pero con mediciones de dos tiempos distintos por ejemplo antes del tratamiento y después del tratamiento (Figura 3).⁴

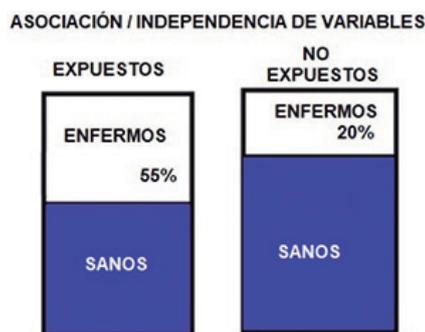


Figura 3. Sub grupos de enfermos y sanos dentro de los grupos de expuestos y no expuestos

2.2 Medidas epidemiológicas de asociación de variables

Cuando se está realizando un estudio con diseño de casos-controles^{3,8} el objetivo es comparar las proporciones de expuestos y no expuestos dentro de los grupos de los casos (enfermos) y de los controles (sanos), la medida estadística que se usa es el Odds Ratio (O.R.) o Razón de momios, que se expresa en una escala que va desde cero hasta infinito. (Figura 4) Cuando el valor es mayor a 1 se trataría de una asociación de variables donde la variable independiente es un factor de riesgo; si el valor del resultado es igual a 1; se interpreta que no hay asociación entre las variables; en el caso de que el resultado sea menos de 1; se interpreta que la variable de exposición es un factor de protección. Cuando se realiza un estudio epidemiológico de cohortes la medida estadística que se usa es el Riesgo Relativo (R.R.) y se interpreta de la misma forma que el OR. (Figura. 4) Por ejemplo, un OR de 17 significa que el grupo de expuestos tiene 17 veces más probabilidad de enfermar que los no expuestos.

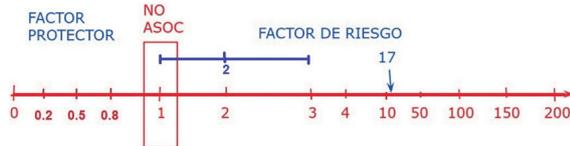


Figura 4. Escala de interpretación OR y RR.

A estos estadísticos se les aplica el concepto de intervalo de confianza, en el ejemplo de la figura 4; un resultado de OR=2 que tiene un intervalo de confianza que va desde 1 hasta 3, se interpreta que no hay asociación porque basta que el intervalo de confianza toque la zona del 1 para que la asociación se interprete como nula.

3. Comparación de promedios

De igual forma en el caso de las pruebas para comparación de promedios, la diferencia del promedio 1 y promedio²; es la magnitud de o tamaño de efecto a tener en cuenta para el cálculo de la muestra; si el tamaño de los grupos no se determina mediante una fórmula de muestreo, es imposible saber con qué confiabilidad se acepta o rechaza la hipótesis y por consiguiente también queda en duda con qué potencia se realiza esta afirmación, en tal sentido es necesario utilizar esta estrategia de determinación del tamaño muestral para lograr conclusiones con validez científica.⁵

3.1 Prueba t para una muestra

La prueba t (también llamada prueba t de Student) es

una herramienta que sirve para saber mediante una prueba de hipótesis, si la media de un único grupo difiere de un valor determinado.⁹ (Figura 5) Toda prueba t de Student parte del supuesto de que los datos tienen distribución normal y un mínimo de 30 unidades de estudio por grupo; en este caso si no se cumple con alguno de los supuestos es recomendable usar la prueba de los signos de Wilcoxon.⁹

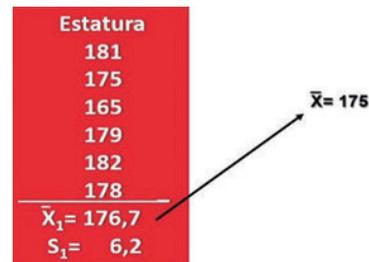


Figura 5. Comparación de un promedio con valor determinado.

3.2 Prueba t para muestras independientes

Es una prueba paramétrica utilizada para la comparación de medias entre dos grupos independientes del mismo tamaño. Los grupos independientes son aquellos que están bien diferenciados, es decir, al desarrollar una investigación, es necesario conocer si hay diferencias entre los grupos de una muestra; por ejemplo: si estás midiendo la estatura en una población nos interesaría conocer las diferencias entre el grupo de hombres y el grupo de mujeres, lo que representan grupos independientes, cada uno con sus características bien diferenciadas. (Figura 6) Por lo tanto, la prueba t busca comparar las medias entre dos grupos independientes con muestras inferiores a 30 sujetos.⁹ Si no se cumple el supuesto de normalidad entonces se debe utilizar la prueba no paramétrica U de Mann Whitney. Las pruebas de normalidad que se utilizan usualmente son:

- Kolmogorov Smirnov (de 31 a más muestras)
- Shapiro Wilk (de 30 a menos muestras)

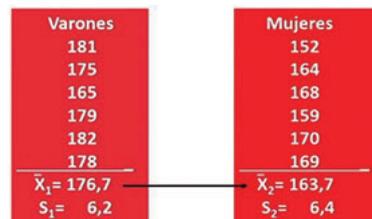


Figura 6. Comparación de promedios. Grupos independientes.

3.3 Prueba t para muestras relacionadas

Esta prueba se utiliza para comprobar si hay una diferencia significativa en medidas relacionadas. Es decir, busca determinar si la diferencia entre medidas de antes

y después en las mismas unidades de estudio ha variado de manera estadísticamente significativa.⁹ (Figura 7)

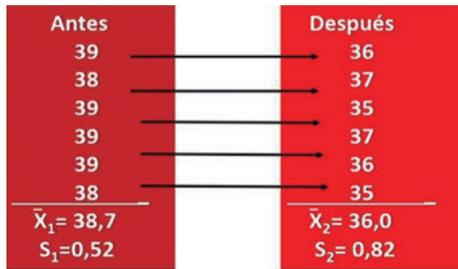


Figura 7. Comparación de promedios. Grupos asociados. Un solo grupo en dos momentos distintos.

Si no se cumple el supuesto de normalidad entonces se debe utilizar la prueba no paramétrica Wilcoxon en reemplazo de esta técnica.

3.4 ANOVA de un factor

La prueba ANOVA se emplea cuando se desea comparar más de dos grupos (una variable cualitativa “factor” divide a la muestra en categorías) y la variable dependiente es un dato cuantitativo. Se parte de la hipótesis nula que indica que los promedios de los grupos son todos iguales; la hipótesis del investigador es que al menos un grupo es diferente.³

Son requisitos para emplear esta prueba: que la variable dependiente cuantitativa debe cumplir con el supuesto de normalidad en cada uno de los grupos y además debe existir homogeneidad de la varianza entre los grupos (homocedasticidad). Si no se cumple con los supuestos, se deben utilizar pruebas estadísticas no paramétricas en el reemplazo de ANOVA, las cuales son Kruskal Wallis (para grupos independientes) o Friedman (para grupos asociados).^{3,4}

En el ejemplo, se tiene la variable grupo de edad, que divide a la población en tres grupos simétricos y se desea evaluar si la presión arterial tiene igual promedio en estos tres grupos de edad. (Figura 8)

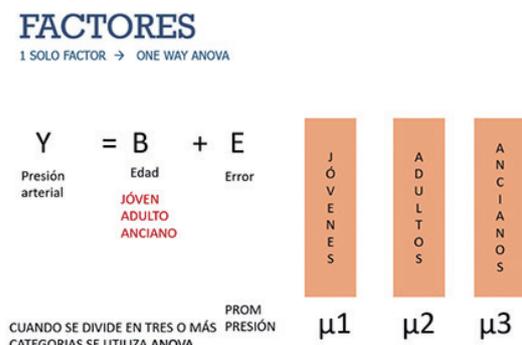


Figura 8. ANOVA de un factor.

3.4.1 Pruebas de Post Hoc

En la prueba ANOVA, existe un contraste de hipótesis de medias y que se hace *a priori* y luego si se encuentra que hay diferencia significativa, se deben emplear las pruebas *post hoc*.⁹ Los contrastes *a priori* se plantean antes de realizar el experimento y permite determinar la existencia de diferencias entre las medias y posteriormente se ejecuta una prueba *post hoc* que permite identificar qué medias difieren o cual es el grupo que rompe la igualdad.⁹ Las pruebas de post hoc se dividen en dos grandes grupos:

- Cuando se asume igual varianza entre los grupos: HSD Tukey; Bonferroni, GT2 de Hochberg, Sidak, Gabriel, Hochberg, Dunnett, Scheffé y DMS.
- Cuando no se asume igualdad de varianza entre los grupos: T2 de Tamhane, T3 de Dunnett, Games-Howell y C de Dunnett.

Para saber si hay igualdad de varianza entre los grupos se aplica el test de Levene.

4. Correlación de variables

Se entiende como correlación, a una medida en la que dos o más variables encuentran relaciones de interdependencia entre sí.¹⁰

Para conocer la correlación entre dos variables cuantitativas y su tendencia que generalmente es una relación lineal específica (recta de regresión lineal según la nube de puntos se condense en torno a una línea recta) se usan estadísticos como el coeficiente de correlación y que pueden ser de manera paramétrica y de otra no paramétrica.¹¹ La regresión puede ser lineal simple, múltiple (varias variables) y regresión logística.¹¹

Las relaciones que pueden existir entre las variables de interés pueden expresarse a través de una relación directa o de una relación negativa entre las variables. Por consiguiente, la correlación es la co-variación entre las variables de estudio, por lo tanto, la palabra correlación y covarianza se entiende por el mismo significado, así se comprenden al análisis de la variación de las variables de estudio.¹⁰

Si ambas variables cuantitativas dependiente (respuesta o criterio) e independiente (predictora) se encuentran con distribución normal se utiliza la correlación de Pearson y cuando al menos una de las variables cuantitativas (dependientes e independientes) presentan distribución no normal, se usa la correlación de Spearman y cuando

la correlación involucra variables cualitativas ordinales se usa Tau B de Kendall.¹²

La prueba de Kendall se utiliza cuando la variable independiente es cuantitativa (distribución normal o no normal) y la variable dependiente es una cualitativa ordinal, o ambas variables son ordinales. Se calculan en base a una serie de rangos asignados por lo que no se afectan por valores atípicos y son apropiados para relaciones asimétricas, no lineales.¹³

4.1. Interpretación de la correlación

Las pruebas estadísticas de correlación (R de Pearson, Rho de Spearman y Tau de B de Kendall) pueden tomar valores de -1 a +1, por lo tanto, -1 representa una relación lineal negativa perfecta, el valor de 0 determina la ausencia de relación entre las variables y +1 establece

una relación lineal positiva perfecta.¹⁰

La interpretación de un coeficiente de correlación se establece como una tendencia de la intensidad de la relación lineal entre dos variables y constituye una medida puramente matemática, por lo tanto, no puede establecer la implicación de causa-efecto, ya que pueden estar influidas por otras variables.¹⁴

Dentro de un ejemplo al analizar los resultados de la correlación, encontramos un coeficiente de correlación de 0,191, con un valor de $p < 0,001$, nos indica que la fuerza de correlación es muy débil, pero se observa una correlación significativa. (Tabla 1) Además al analizar los resultados de la correlación, en el gráfico de dispersión, se ve la tendencia positiva de la correlación, el R^2 nos muestra que el 3,6% del ángulo interincisivo explica la variabilidad del ángulo nasolabial (protrusión del labio superior).¹⁴ (Figura 9)

Tabla 1. Correlación del ángulo interincisivo y el nasolabial.

		Ángulo Interincisivo	Ángulo Nasolabial
Ángulo Interincisivo	Correlación de Pearson	1	,191**
	Sig. (bilateral)		,001
	N	276	276
Ángulo Nasolabial	Correlación de Pearson	,191**	1
	Sig. (bilateral)	,001	
	N	276	276

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

- 0,00: Nula
- 0,01-0,2: Muy débil
- 0,21-0,4: Débil
- 0,41-0,6: Moderada
- 0,61-0,8: Fuerte
- 0,81-0,99: Muy fuerte
- 1,00: Perfecta

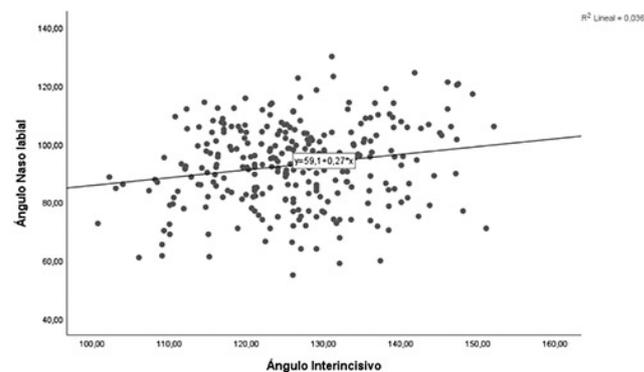


Figura 9. Gráfico de dispersión de la correlación del ángulo interincisivo y el nasolabial.

En este tipo de pruebas también se calcula el coeficiente de determinación que se obtiene sacando la raíz cuadrada al valor del coeficiente de correlación (R^2) e indica el porcentaje de la variabilidad de la va-

riable dependiente que se explica por la correlación entre las dos variables.¹⁴ Visualmente para la correlación se usa un diagrama de dispersión. En el ejemplo se desea hallar la correlación entre el ángulo interin-

cisivo y el ángulo naso labial, cada uno de los puntos representa la intersección de un par de observaciones (X, Y) para observar la fuerza y dirección de la relación entre las dos variables.¹⁴ (Figura 9)

5. Análisis multivariante

Este es un tipo de técnicas estadísticas que permiten analizar la influencia de varias variables independientes sobre una variable dependiente; estas variables se pueden medir en la misma o en diferentes escalas.³

5.1. ANOVA de múltiples factores

Modelo en el cual se presentan dos o más factores (variables independientes) actúan sobre la variable respuesta (variable dependiente), donde se pretende analizar si las variables independientes (factores) influyen en función de los niveles de las otras variables dependientes.³

5.1.1 ANOVA de múltiples factores equilibrado

Es un modelo que estudia la influencia de varios factores sobre otros, cuando el número de observaciones para cada nivel de factor es el mismo siempre.³ (Figura 10)

5.1.2. ANOVA de múltiples factores no equilibrado

A diferencia del modelo multifactorial equilibrado en este el número de observaciones para cada nivel de factor no es igual.³ (Figura 11)

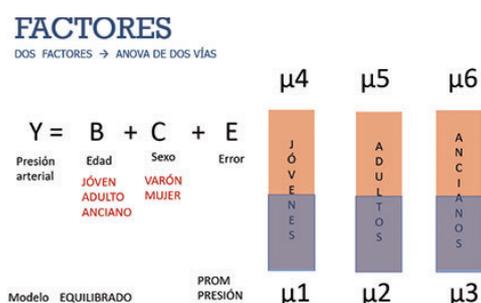


Figura 10. ANOVA bifactorial equilibrado de efectos fijos.



Figura 11. ANOVA bifactorial no equilibrado de efectos fijos.

5.1.3 ANOVA de efecto fijo, ANOVA de efecto variado y ANOVA de efecto mixto

Cuando una de las variables es ordinal como el caso de la variable edad, está determina que el modelo sea de efecto fijo; por el contrario, si la variable edad se maneja como una variable cuantitativa esta determinará una cantidad tan grande de sub grupos que el modelo se denomina ANOVA de efecto variado o aleatorio, si el modelo utiliza los dos tipos se llama de efecto mixto.³

5.2. Análisis de Varianza (ANCOVA)

Es una prueba que permite examinar datos con una variable dependiente continua y otras variables independientes continuas y nominales. Se establece una relación de variables independientes y dependientes similar a la regresión múltiple y del modelo ANOVA. Adicionalmente, elimina el impacto de una o más variables indeseables. El estudio de la estimación de una variable dependiente continua a partir de una variable independiente nominal, controlando el efecto de la segunda, es el empleo más frecuente del ANCOVA.³

5.3. Análisis Multivariante de Varianza (MANOVA)

Es una prueba de dependencia que brinda un análisis de regresión y un análisis de varianza para variables dependientes múltiples por una o más covariables. Estima las diferencias entre promedios de varias categorías a través del cotejo de variables dependientes observadas. Tiene una variación unidireccional y bidireccional, así como un ANOVA.³

5.4. Análisis Multivariante de Covarianza (MANCOVA)

Prueba paramétrica que analiza la relación entre las variables dependientes e independientes al mismo tiempo en el que se controlan los efectos de las covariables en una sola variable dependiente, esto permite observar el efecto real de las variables independientes sobre las variables dependientes sin interferencias.³

5.5. Modelo Lineal General (MLG)

Es el modelo clásico y más general de regresión lineal, incluye el modelo de regresión lineal múltiple con variables cuantitativas y los modelos de regresión múltiple con variables cuantitativas y cualitativas a la vez, por lo tanto, incluye todos los modelos de la varianza (ANOVA) y de la covarianza.³

5.5.1 MLG univariado

Se aplica para un estudio con una variable dependiente cuantitativa y con uno o más factores (variable independiente cualitativa en azul) y/o con una o más covariables (independiente cuantitativa en rojo) se utiliza para contrastar la hipótesis de que las variables independientes tienen efecto sobre las medias de varias agrupaciones de una única variable independiente.¹³ (Figura 12)

MLG UNIVARIADO												
Y	$=$	u	$+$	bv	$+$	cw	$+$	dx	$+$	fy	$+$	E
CPOD		constante		sexo		procedencia		edad		IHO-5		error

Figura 12. MLG Univariado.

5.5.2 MLG multivariado

Es un análisis de regresión y ANOVA para dos o más variables dependientes cuantitativas con una o más covariables (independiente cuantitativa) o factores (independiente cualitativa), además debe cumplir con los mismos supuestos preconizados en el MLG univariado. En el ejemplo se ve cómo 3 variables dependientes se correlacionan con un modelo de interacción matemática que involucra el sexo, lugar de procedencia, edad y el índice de higiene oral simplificado.¹³ (Figura 13)

MLG MULTIVARIADO												
Y	$=$	u	$+$	bv	$+$	cw	$+$	dx	$+$	fy	$+$	E
CPOD		constante		sexo		procedencia		edad		IHO-5		error
H	$=$	u	$+$	bv	$+$	cw	$+$	dx	$+$	fy	$+$	E
IPR		constante		sexo		procedencia		edad		IHO-5		error
G	$=$	u	$+$	bv	$+$	cw	$+$	dx	$+$	fy	$+$	E
CVRSB		constante		sexo		procedencia		edad		IHO-5		error

Figura 13. MLG Multivariado.

5.5.3 MLG para medidas repetidas

Es un modelo matemático con una variable dependiente cuantitativa (medida en distintos tiempos) con una o más covariables (independiente cuantitativa) o factores (independiente cualitativa). En el ejemplo vemos como el nivel de inserción clínica de la encía (NIC) se mide en el tiempo 1 (Yt1); tiempo 2 (Yt2) y tiempo 3 (Yt3) y estas mediciones se correlacionan con la interacción de las variables sexo, bruxismo, Nivel de Higiene Oral y las veces que el paciente se cepilla al día.¹³ (Figura 14)

MLG MEDIDAS REPETIDAS												
Y_{t1}	$=$	u	$+$	bx	$+$	cw	$+$	dx	$+$	fy	$+$	E
NIC INICIO		constante		sexo		bruxismo		NHO		veces cepillado		error
Y_{t2}	$=$	u	$+$	bx	$+$	cw	$+$	dx	$+$	fy	$+$	E
NIC DURANTE		constante		sexo		bruxismo		NHO		veces cepillado		error
Y_{t3}	$=$	u	$+$	bx	$+$	cw	$+$	dx	$+$	fy	$+$	E
NIC FINAL		constante		sexo		bruxismo		NHO		veces cepillado		error

Figura 14. MLG para medidas repetidas.

5.5.4. Modelo lineal mixto

Es una extensión del modelo lineal general y que se utiliza el análisis de componentes de la varianza que permite estimar la contribución de cada efecto aleatorio a la varianza de la variable dependiente, usualmente es usado en diseño split-plot, diseños de medidas repetidas univariada y diseños de bloques aleatorios.¹⁵

5.6. Regresión logística

La Regresión logística constituye el modelo más frecuente para analizar variables que no dependen del tiempo. Éste método para determinar factores de riesgo permite predecir la presencia o no de una característica o resultado y a diferencia del modelo lineal, la regresión logística adaptada para variables dicotómicas se puede aplicar a un rango más amplio a diferencia del análisis discriminante.^{3, 15}

Es un modelo de análisis multivariado que permite conocer la relación de dependencia de una variable respecto a otra, la regresión logística puede ser binomial y multinomial cuando incluye más de 2 categorías.¹⁵ (Figura 15)

REGRESIÓN LOGÍSTICA BINOMIAL																
Y_0^1	$=$	u	$+$	bv	$+$	cw	$+$	dx	$+$	fy	$+$	E				
Maloclusión Dental		constante		sexo		procedencia		edad		INS		error				
REGRESIÓN LOGÍSTICA MULTINOMIAL																
Y_1^3	$=$	u	$+$	bv	$+$	cw	$+$	pr	$+$	dx	$+$	fy	$+$	gz	$+$	E
Maloclusión Dental Clase Esquelital		constante		sexo		raza		patrón vertical		SNA		SNB		ANB		error

Figura 15. Regresión Logística

En esta prueba estadística se utiliza comúnmente el concepto de variable dummy que en español es variable ficticia.

5.7. Análisis de supervivencia

Un análisis de supervivencia es un método estadístico que sirve para comparar el tiempo promedio que transcurre desde el inicio del estudio hasta que aparece una enfermedad o condición en el paciente.¹⁶

5.7.1 Kaplan Meier

Este modelo de análisis de supervivencia permite calcular la probabilidad condicionada en cada momento de tiempo (punto temporal) cuando se da el evento, incluyendo los casos censurados (que son aquellos que no presentan enfermedad, hasta el final del estudio). La variable de tiempo debe ser cuantitativa, la variable evento puede ser cuantitativa (con un punto de corte) o cualitativa y se pueden adicionar variables como factor que dividirá a la población en dos grupos de estudio (Grupo experimental versus control) y se puede adicionar subgrupos dentro de cada factor tales como sexo u otros. Se grafica en un diagrama de una función escalonada.¹⁶ (Figura 16)

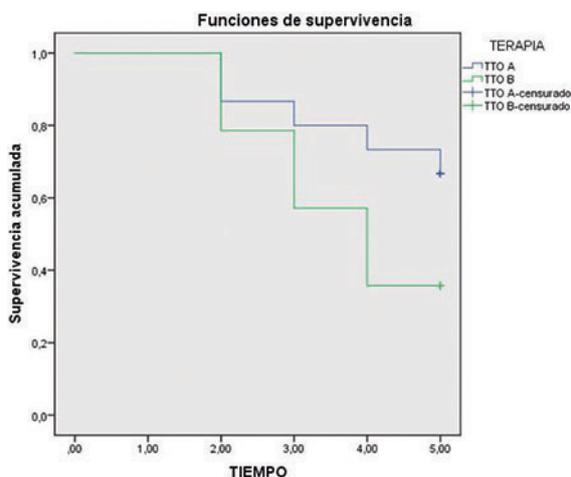


Figura 16. Estimador Kaplan Meier

5.7.2 Regresión de COX

Este análisis de supervivencia se basa en el cálculo de riesgo proporcional, que es una medida de la posibilidad de que el evento aparezca en un momento o tiempo determinado, pero se enfoca además en la proporción de los efectos que imprimen las covariables a esta función de riesgo.¹⁶

5.8 Análisis discriminante

Permite asignar o clasificar sujetos de estudio dentro de grupos previamente reconocidos o definidos por el investigador. Por ejemplo, si tenemos un grupo de pacientes a los cuales se les ha medido varias variables

de enfermedad bucal (caries, enfermedad periodontal, índice de higiene oral) y separamos estos pacientes en dos grupos, los más graves y los menos graves, al determinar este punto de clasificación basado en 3 variables, podemos a futuro asignar los próximos pacientes a un determinado grupo (más grave o menos grave) en función de la probabilidad que nos informa el software estadístico.¹⁷

5.9 Análisis de clúster

Son algoritmos que sirven para buscar grupos de individuos similares dentro de una base de datos. Supongamos el mismo ejemplo del párrafo anterior. El software estadístico clasifica a los individuos en grupos homogéneos, no conocidos por el investigador, pero en función de los datos de las variables (caries, enfermedad periodontal, índice de higiene oral) de la base de datos.¹⁸

5.9.1 Clúster jerárquicos

Organiza los individuos de estudio en varios niveles de agrupación y utiliza variables cuantitativas y cualitativas. El software asigna la cantidad de grupos de manera automática. Expresa los resultados de manera gráfica mediante un Dendograma.¹⁸ (Figura 17)

5.9.2 Clúster no jerárquicos

Organiza los individuos en función de la cantidad de grupos que el investigador define de antemano. Utiliza solamente variables cuantitativas, por esa razón emplea la dispersión (desviación estándar o varianza) como criterio para generar grupos similares entre ellos.¹⁸

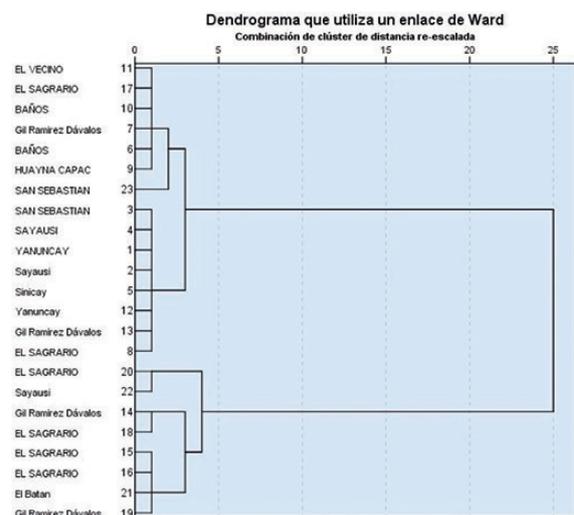


Figura 17. Dendrograma

5.10 Análisis de interdependencia de variables

Este tipo de pruebas estadísticas multivariadas analizan la relación mutua entre un conjunto de variables. No se enfocan en la relación causal entre variables, sino más bien en el supuesto de que las variables comparten variabilidad (esto es que si una variable aumenta la otra aumenta junto a esta).¹⁹

5.10.1 Análisis de componentes principales

Es un método estadístico de reducción de la cantidad de variables independientes que están correlacionadas con una variable dependiente. Se busca dentro de un conjunto de variables de una base de datos, eliminar las variables que no estén correlacionadas con la variable dependiente, para quedarnos solamente con un conjunto de variables que puedan explicar la variabilidad de la variable principal. Todas las va-

riables en cuestión deben ser cuantitativas. Se utiliza un gráfico denominado gráfico de sedimentación (Scree plot) para identificar la cantidad de factores (variables agrupadas) que deben ser retenidas en el estudio.¹⁹

5.10.2 Análisis factorial

Es un análisis que permite reducir la cantidad de variables de una base de datos analizando la interdependencia entre ellas y proporciona conocimiento de la estructura subyacente entre ellas (grupos de variables que están correlacionadas entre sí). Este análisis se realiza partiendo de la suposición de que existen variables no medidas (que surgen de la interacción entre variables que se pueden agrupar entre ellas) llamadas variables latentes sintéticas e inobservables.²⁰ (Figura 18)



Figura 18. Análisis factorial

Cantidad grande de variables en la base de datos, dispuestas de la manera en la que aparecieron al momento de la medición. Las mismas variables ordenadas y agrupadas (como factores) de acuerdo a la interrelación que presentan entre ellas y con la variable dependiente. Estas nuevas variables (factores) halladas por análisis factorial permiten colocarles nombres y luego hacer la interpretación de lo que significan conceptualmente. De tal manera que esas variables agrupadas conforman una dimensión y el conjunto de dimensiones conforman el total del constructo (Figura 18).²¹

5.11 Análisis de reducción de variables

5.11.1 Análisis de correspondencias simple

Llamado también análisis factorial de correspondencias, es un método multivariante factorial que tiene como objeto la reducción de la dimensión de una tabla de contingencia (la cantidad de columnas), este análisis se aplica cuando hay dos variables cualitati-

vas. La idea es agrupar variables y tener un modelo más simple que permitirá un estudio más simple del problema. Este análisis se entiende mejor partiendo del ejemplo de la tabla bivariada en la que se aplica una prueba Chi cuadrado y este test solo determina si hay o no asociación entre variables, pero no se sabe qué categorías estaban implicadas en esta asociación, por lo que el análisis de correspondencias múltiples extrae relaciones entre categorías y define similitudes entre ellas, lo que permite agrupar o colapsar categorías si se detecta que se corresponden.^{22, 23}

5.11.2 Análisis de correspondencias múltiples

Es la ampliación del análisis de correspondencias simple a una situación en la que se tiene más de dos variables. Por lo tanto, ya no se usa una tabla de contingencia, al contrario, una tabla de Burt.²²

5.12 Análisis de series temporales

Estos análisis pretenden hacer una predicción del

comportamiento de una variable a futuro, existen predicciones condicionales (mediante modelos causales) e incondicionales (mediante métodos autopropectivos). Las series temporales son una sucesión de observaciones cuantitativas de un fenómeno, ordenadas en el tiempo.²⁴

5.12.1 Análisis de la tendencia

Una serie de tiempo está formada por cuatro componentes teóricas.²⁵

- Tendencia (T): Dirección predominante de la serie a largo plazo.
- Variaciones estacionales (E): Oscilaciones que se producen en períodos menores a un año.
- Variaciones cíclicas (C): Oscilaciones que se producen con un período superior al año.
- Variaciones residuales (R): Son movimientos en la serie que son originados por circunstancias accidentales o aleatorias.

Un primer método de análisis es el gráfico, que directamente se llevan los datos a un gráfico de dispersión con coordenadas. Un segundo método es el denominado Medias móviles que consiste en promediar cada valor de la serie con algunas observaciones anteriores y posteriores con la finalidad de eliminar variaciones accidentales, a esto se le denomina una serie suavizada. El tercer método es de mínimos cuadrados, que ajusta los datos en una función lineal mediante el método de mínimos cuadrados en la cual la variable tiempo entra como variable explicativa (independiente).²⁵

DISCUSIÓN

Existen diversas formas de organizar o categorizar las pruebas estadísticas, algunos textos priorizan la división entre pruebas paramétricas y no paramétricas, otros textos realizan la clasificación de las pruebas y técnicas estadísticas de acuerdo a la naturaleza estadística de la variable independiente (ordinal, nominal, discreta, continua) y otros textos lo hacen en función de la aparición en la plataforma de cierto programa estadístico,^{2,3} sea cual sea la forma de hacer la clasificación u organización de estas pruebas, lo importante es que el lector tenga la herramienta que está buscando, en función de su diseño de estudio, el presente trabajo es un esfuerzo por presentar un listado de pruebas estadísticas desde la clasificación

de la lógica que subyace para la ejecución de las mismas, con lo que esperamos el lector pueda tener una herramienta adicional al momento de escoger la prueba estadística que empleará en su proyecto de investigación.^{3,8}

Tal como sucede en el *Vademecum* médico, que es un conjunto de capítulos de listados de medicamentos con los aspectos más sucintos de los fármacos, el presente texto pretende ser el *Vademecum* estadístico, para los investigadores en ciencias de la salud, motivo por el cual este trabajo no ahonda en los modelos matemáticos, ni en los procedimientos de los paquetes estadísticos, para llegar a realizar un ejercicio de los temas tratados, por el contrario pretende ser una lista de prescripciones estadísticas que se tengan en un solo documento a fin de servir de guía para el lector y que luego este pueda profundizar en la prueba estadística que escoge, en libros de texto o en tutoriales de internet que son abundantes.²

Una limitación del presente artículo de contribución didáctica docente, es que, dada la naturaleza del tipo de publicación, se ha tenido que reducir las explicaciones a lo mínimo indispensable que permita identificar la prueba estadística y para qué sirve, motivo por el cual en la mayoría de temas tratados no se ha desarrollado los resultados que entregan los paquetes estadísticos.

CONCLUSIONES

Se pueden agrupar las pruebas estadísticas univariadas, bivariadas y multivariadas; desde el enfoque de la visión del usuario, con la finalidad de brindar una alternativa de explicación y agrupación didáctica para quienes los textos regulares resultan de difícil comprensión.

Referencias Bibliográficas

1. Troya A. Técnicas estadísticas en el análisis cuantitativo de datos. *RSIGMA*. [Internet]. 2019; 15(1): 28-44. Disponible en: <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rsigma/article/download/4905/5671>
2. Villavicencio-Caparó E. Auditoría de la Inves-

- tigación Científica Biomédica. Editor A, editor. 2016.
3. Riegelman R, Hirsch R. Cómo estudiar un estudio y probar una prueba: lectura crítica de la literatura médica. OPS [Internet]. 1992. Disponible en: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/3309>
 4. Spiegel MR. Estadística. Avaraca, Madrid: McGraw Hill/interamericana de España. S. A. U.; 1991.
 5. Caparó EV. El tamaño muestral para la tesis. ¿cuántas personas debo encuestar? *Odontol Act.* [Internet]. 2017; 2(1): 59-62. Disponible en: <https://oactiva.ucacue.edu.ec/index.php/oactiva/article/view/175>
 6. Mendivelso F, Rodríguez M. Prueba Chi-Cuadrado de independencia aplicada a tablas 2xN. *Rev Medica Sanitas.* [Internet]. 2018; 21(2): 92-5. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.26852/01234250.6>
 7. Gómez OT. Una aplicación de la prueba chi cuadrado con SPSS. *Industrial Data.* [Internet]. 2008; 11(1): 73-7. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81611211011>
 8. Caparó EV, Cordero MCA, Leon KC, Curipoma MC, Vivar DP, Cordero AA. Diseños de estudios clínicos en odontología. *Odontol Act.* [Internet]. 2016; 1(2): 81-4. Disponible en: <https://oactiva.ucacue.edu.ec/index.php/oactiva/article/view/163>
 9. Calderón MC, Altamirano IV. Prueba T de Student para una investigación odontológica. *Odontol Act.* [Internet]. 2022; 7(1): 49-54. Disponible en: <https://oactiva.ucacue.edu.ec/index.php/oactiva/article/view/562>
 10. Bustamante C, Mendoza Quispe C. Estudios de Correlación. *Revista de Actualización Clínica.* [Internet]. 2013; (33): 1691-1693. Disponible en: <https://docplayer.es/39252129-Revista-de-actualizacion-clinica-volumen.html>
 11. Martínez-Curbelo G, Cortés-Cortés ME, Pérez-Fernández A. Metodología para el análisis de correlación y concordancia en equipos de mediciones similares. *Universidad y Sociedad.* [Internet]. 2016; 8(4): 65-70. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2218-36202016000400008&lng=es&nrm=iso&tlng=es
 12. Roy-García I, Rivas-Ruiz R, Pérez-Rodríguez M, Palacios-Cruz L. Correlación: no toda correlación implica causalidad. *Rev Alerg.* [Internet]. 2019; 66(3): 354-60. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2448-91902019000300354&lng=es&nrm=iso&tlng=es
 13. del Campo N, Matamoros L. Técnicas estadísticas para identificar posibles relaciones bivariadas. *Rev Cubana Hig Epidemiol.* [Internet]. 2020; 19(2): 1-23. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/revcubanerea/rca-2020/rca202h.pdf>
 14. Martínez-Ortega R, Tuya-Pendás L, Martínez-Ortega M, Pérez-Abreu A, Cánovas A. El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman caracterización. *Rev haban cienc méd.* [Internet]. 2009; 8(2): 1-19. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1729-519X2009000200017&lng=es&nrm=iso&tlng=es
 15. López CP. Técnicas estadísticas con SPSS 12: Aplicaciones al análisis de datos. [Internet]. Pearson Educación. 2005. 824 p. Disponible en: <https://www.worldcat.org/es/title/tecnicas-estadisticas-con-spss-12-aplicaciones-al-analisis-de-datos/oclc/60556857>
 16. José B, Pérez E, Madero R. Métodos estadísticos en estudios de supervivencia. *An Pediatr Contin.* [Internet]. 2009; 7(1): 55-9. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-anales-pediatria-continuada-51-articulo-metodos-estadisticos-estudios-supervivencia-S1696281809704536>
 17. Torrado-Fonseca M, Berlanga-Silvente V. Análisis discriminante mediante SPSS. *REIRE* [Internet]. 2013; (2), 150-166. Disponible en: <http://www.ub.edu/ice/reire.htm>
 18. Santana OF. El análisis de cluster: aplicación, interpretación y validación. *Papers: revista de sociologia.* [Internet]. 1991; 65-76. Disponible en: <https://www.raco.cat/index.php/Papers/article/download/25102/58448>
 19. Navarro-Céspedes JM, Casas-Cardoso GM, Rodríguez EG. Análisis de componentes principales y análisis de regresión para datos categóricos. Aplicación en la hipertensión arterial. *RMTA.* [Internet]. 2010; 17(2): 199-230. Disponible en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/matematica/article/download/2128/2091>
 20. IBM SPSS Statistics. Análisis factorial. [Internet]. 2022 Disponible en: <https://www.ibm.com/docs/es/spss-statistics/29.0.0?topic=features-factor-analysis>
 21. Villavicencio-Caparó E. Validación de cuestionarios. *Odontol Act Rev Cient.* [Internet]. 2018; 1(3): 71-6. Disponible en: <https://pruebas3.ucacue.edu.ec/index.php/oactiva/article/view/200>

22. Rodríguez-Jaume M, Mora-Catalá R. Análisis de regresión múltiple. Capítulo 3 [Internet]. 2001. Disponible en: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/12073/1/Capitulo3.pdf>
23. Tovar A, Paternina L, Morinson M. Análisis de correspondencia aplicado al estado nutricional de las mujeres entre 15 a 49 años en departamentos de Colombia. Vicerectoría administrativa y financiero. [Internet]. 2017; 2(2): 1-7. Disponible en: https://www.uniatlantico.edu.co/wp-content/uploads/2021/11/MEMORIAS_EIEM_3-12-SEPTIEMBRE-No-2-compressed.pdf#page=7
24. Series Temporales. Análisis de la Tendencia [Internet]. 2021. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=td6Yn3f-IQ>
25. Corres G, Esteban A, García J, Zárate C. Análisis de series temporales. RII [Internet]. 2009; 8(1): 21-23. Disponible en: <https://revistas.ubio-bio.cl/index.php/RI/article/view/80>

Recibido: 14 marzo 2023

Aceptado: 22 abril 2023

