

Análisis Factorial Exploratorio a través de software gratuito en psicología

Luis Rodríguez Chávez

Licenciado en Psicología (UCAB). Profesor investigador en el Centro de Investigación y Evaluación Institucional (CIEI), Universidad Católica Andrés Bello (UCAB)

Resumen

El propósito del siguiente texto es revisar el rendimiento general que tiene el Análisis Factorial Exploratorio (AFE) como técnica de análisis de escalas en psicología a través de diversos paquetes estadísticos de licencia gratuita. Con tal fin se establecieron los siguientes criterios para la evaluación de los programas: análisis previo de datos, matriz de estimación, método de determinación de factores, métodos de extracción de varianza y métodos de rotación. Posteriormente se seleccionaron los programas: FACTOR, JAPS y JAMOVI en sus últimas versiones. Luego de examinados los procedimientos se concluye que FACTOR es el programa que brinda mayor cantidad de opciones en la toma de decisiones, así como también ofrece información más detallada para un AFE, seguido de JAPS, y por último JAMOVI. De esta manera FACTOR resulta de mayor utilidad para investigadores avanzados mientras que JAPS y JAMOVI permiten estimaciones complementarias.

Palabras clave: Análisis Factorial, Software de licencia gratuita, Metodología, Psicometría.

Exploratory Factor Analysis through free-cost software in psychology

Abstract

The purpose of the following text is to review the general performance of Exploratory Factor Analysis (EFA) as a scale analysis technique in psychology through various free license statistical packages. With this objective, the following criteria are presented for the evaluation of the programs: previous data analysis, estimation matrix, factor determination method, variance extraction methods and rotation methods. Subsequently, the programs were selected: FACTOR, JAPS and JAMOVI in their latest versions. After examining the procedures, it is concluded that FACTOR is the program that provides the greatest number of options in decision making, as well as offering more detailed information for an AFE, followed by JAPS, and finally JAMOVI. In this way, FACTOR is more useful for advanced researchers, while JAPS and JAMOVI allow complementary estimations.

Keywords: Social. Factor Analysis, free-cost license software, Methodology, Psychometrics.

Presentación general

En psicología uno de los aspectos centrales es la medición, los psicólogos tanto para investigar como en su ejercicio profesional necesitan administrar uno o varios test para medir fenómenos psicológicos, tales como la personalidad, la inteligencia, la motivación, entre otros. Por eso el test que se utiliza debe ser sometido a un proceso riguroso de validez para su implementación adecuada. Dentro de estos procedimientos de validación se encuentra el análisis factorial, el cual ha sido uno de los procesos más usuales en la construcción y diseño de escalas en psicología (Izquierdo et al., 2014).

El análisis factorial es, en términos sencillos, una familia de técnicas matemáticas multivariadas donde un conjunto de variables observadas (o manifiestas) se reducen a un grupo pequeño de variables latentes (o no observadas) (VandenBos, 2015), de esta manera cuando es aplicado en las respuestas de un test, el procedimiento procura mostrar la mejor correlación entre los ítems (variables observadas) dando cuenta así de factores, los cuales se interpretan como dimensiones (variables no observadas) de algún fenómeno psicológico concreto.

Consecuentemente, podría existir un factor (test unidimensional), por lo que el test solo mide una dimensión, p.e. medir actitud positiva hacia las matemáticas, o bien puede medir varios factores (test multidimensional), p.e. ansiedad hacia los números, utilidad de las matemáticas y agrado hacia las matemáticas.

En el mismo orden de ideas, el análisis factorial se puede dividir en dos categorías: el análisis factorial exploratorio (AFE), cuyo fin es encontrar constructos latentes a través de la covariación de variables observadas (ítems), mientras que el análisis factorial confirmatorio (AFC) busca comprobar estructuras hipotéticas pre definidas (Bandalos y Finney, 2018), en otras palabras, en el primero las asociaciones entre los ítems y el factor no están definidas y se buscan conocer, mientras que en el segundo estas asociaciones se buscan comprobar.

Aunque el AFE implica una serie de cálculos complejos, la lógica simplificada de los procesos es la siguiente; (a) se calcula la matriz numérica, a partir de las asociaciones bivariadas de todos los ítems/variables, en el siguiente paso (b) se determina el número de factores, esto es fijar la cantidad de factores – que son la representación numérica de las asociaciones que hay entre varios ítems/variables de la matriz – de esta manera los factores dan cuenta de las variables latentes o dimensiones. Luego (c) se extrae la varianza, donde se procura que la varianza común entre todos los ítems/variables quede representada lo mejor posible, en este paso se estima la asociación entre cada uno de los ítems/variables y el factor o los factores, estimaciones conocidas como cargas factoriales, por último (d) en el proceso de rotación, dichas cargas se ajustan lo mejor posible para obtener una mejor “lectura” (Kerlinger y Lee, 2002; Tabachnick y Fidell, 2019).

En otro orden de ideas, al aplicar un AFE es común el uso de paquetes comerciales como Statistical Package for the Social Sciences (SPSS, siglas en inglés), los cuales brindan una interfaz sencilla, así como un procesamiento rápido de los datos, y aunque son sencillos de usar estos pueden presentar una serie de problemas, como explica Roig-Fusté (2018) el alto costo por las licencias llevan a que muchos investigadores y estudiantes descarguen y utilicen versiones ilegales (o piratas), con el riesgo de ser víctimas de virus informáticos, funcionamiento incorrecto y ausencia de garantías, explica el autor que todo es evitable porque existen alternativas de estos programas que son gratuitas y seguras. Además, utilizar un programa sin autorización legal es una práctica deshonestas que atenta con la integridad que debe tener un psicólogo (APA, 2016).

Adicional a esto, una limitación que puede existir en estos programas con licencia paga son las opciones restringidas en los procedimientos de estimación en el AFE, es decir, que si bien se puede ejecutar un AFE estos programas no ofrecen tantas opciones e indicadores como se podría obtener de algunos paquetes gratuitos (ver Lloret-Segura et al., 2017) de esta manera, debido a que los programas pagos cuentan con opciones limitadas y estas pudieran no ser idóneas, al solo utilizar dichos programas se pudieran terminar reforzando las malas prácticas en el uso del AFE (Gaskin y Happell, 2014).

Sin embargo, existe un conjunto de opciones alternativas, compuestas por los lenguajes de programación, estos se han vuelto populares; tales como R, Matrix Laboratory (MATLAB, siglas en inglés), Structured Query Language (SQL, siglas en inglés) y Python, los cuales parecen tener cada vez más adeptos en psicología dado que tienen una potencial ventaja; permiten diseñar y aplicar cualquier procedimiento estadístico de análisis de datos, además de poder compartir dichos procedimientos con cualquier usuario en el mundo, todo esto sin costo alguno (Cohen, 2017; Frisendal, 2016; Echabaudes Ilizarbe, 2019; Harrer et al., 2021; Pierce et al., 2019). Sin embargo, su principal desventaja es que requieren conocimientos de programación especializada, por lo que no cuentan con una interfaz sencilla para quienes buscan realizar un AFE sin tener dichos conocimientos.

Un punto medio entre los programas con licencia paga y los lenguajes de programación, son los paquetes estadísticos de software gratuito que no requieren programar, es decir, este tipo de software cuentan con una interfaz desarrollada, además de brindar mayor información estadística que los paquetes pagos – como se mencionó anteriormente – también algunos dan la libertad para modificar los cálculos si el usuario conoce el lenguaje informático el que se basa el programa, siendo una opción también para psicólogos que ya conocen de programación. Con esto no se quiere decir que sean la panacea, pero son buena opción para los estudiantes, profesores e investigadores que están comenzando a estudiar y aplicar análisis factorial. Entre las opciones se pueden encontrar JAPS, PSPP, JAMOVI, FACTOR, entre otros.

De esta manera es de especial importancia conocer y poder aplicar las opciones más idóneas ya que permiten buenas prácticas en el análisis factorial, aspecto que suele ser poco habitual en las publicaciones de psicología (Ledema et al., 2019), en especial porque el AFE implica una serie de decisiones que deberían ser cuidadosas e informadas y muchas veces estas opciones no son conocidas (Goretzko et al., 2019). Motivado a lo anterior, resulta pertinente realizar una revisión de aquellos programas gratuitos que se encuentran disponibles y actualizados, y que además puedan ser de utilidad para los psicólogos a la hora de aplicar un AFE.

Metodología

Previa a la selección de los programas, se establecieron los criterios de revisión en cinco fases donde el psicólogo tiene la necesidad de tomar una decisión respecto al análisis factorial, estas fases se basaron en lo expuesto por Hair et al. (2019), Fabrigar y Wegener (2012) y Lloret-Segura et al. (2014), en estas se tiene que utilizar estimaciones con diversos estadísticos, las fases fueron; análisis previo de datos, matriz de estimación, método de determinación de factores, métodos de extracción de varianza y métodos de rotación.

A continuación se dará una breve descripción de los tipos de indicadores a evaluar en cada uno de estas. Vale acotar que el presente apartado no pretende ser una guía detallada de decisión, motivo por el que se omiten explicación de los indicadores más comunes (p. e. Kaiser Meyer Olkin o KMO), y en caso de que se desee conocer

bajo qué condiciones se debe aplicar cada procedimiento así como sus limitaciones se sugiere a los lectores interesados revisar las referencias citadas en cada uno de los apartados.

A. Análisis previo de datos.

En esta fase brindan información elemental de cada variable/ítem como estadísticos de tendencia central y dispersión. Siendo el examen de la normalidad estadística fundamental, y aunque se puede examinar en función a la asimetría y la curtosis de cada ítem/variable, también se puede hacer a través de tests de normalidad univariada (p. e. Kolmorov-Smirnov, Shapiro Wilk), o implementar un test de normalidad multivariada para evaluar toda la escala (p. e. Mardia, Henze-Zirkler). Además se consideran indicadores de adecuación de las correlaciones como el KMO, el cual se puede estimar para toda la escala o para el ítem (este último se conoce como MSA), y de Test de Esfericidad de Bartlett, el cual solo aplica para toda la escala (Zygmunt & Smith, 2014).

B. Matriz de estimación

Las estimaciones para la matriz de correlaciones pueden ser por: (a) Pearson, es la más común y se implementa en escalas de intervalo con distribución normal, (b) Policórica, ideal cuando la escala tiene un nivel de medida ordinal o dicotómico y la distribución no es normal y, (c) Covarianza, solo debe usarse cuando se buscan analizar las diferencias de varianza entre grupos, tiempos, o cualquier criterio del que se sospeche discrepancia, siempre y cuando exista un mismo nivel de medida en los ítems ya que se trabaja con unidades de medida de valor en bruto (Dominguez-Lara, 2014, Freiberg-Hoffmann et al., 2013; Lloret-Segura et al., 2014; Loehin y Beaujean, 2017).

C. Métodos de determinación de factores.

Tradicional. Abarca la evaluación de los autovalores – proporción de varianza explicada – por factor, por lo que permite aplicar el criterio de Kaiser o Jolliffe. También se puede optar por la representación de estos autovalores a través el gráfico de sedimentación y evaluar visualmente cuál es la cantidad de factores a extraer (Yong y Pearse, 2013).

Basados en estimación “objetiva”. Estos comparten la característica de ahorrar problemas de selección subjetiva o error que puedan derivarse de los tradicionales antes descritos, aunque su nombre de “objetiva” es motivo de discusión, lo que se busca señalar es que son pruebas estadísticas específicamente diseñadas para detectar el número idóneo de factores. La selección se hace en función a los lineamientos de Timmerman, et al. (2018), y se comentan a continuación:

- Análisis Paralelo. Se basa en comparar los factores obtenidos en la investigación con factores provenientes de simulaciones de datos aleatorios, la idea básica es que los autovalores de cada factor obtenido en el estudio sean mayores al azar (autovalores resultantes de las simulaciones) para ser considerado en su extracción. Posee una alternativa “percentil 95” de varianza aleatoria, lo que hace más conservadora la extracción del número de factores (Hayton et al., 2004).
- Método de Hull. Su objetivo es encontrar un balance entre el ajuste del modelo y el número de parámetros, es decir, equilibra los indicadores y la parsimonia, por lo que es ideal para análisis factorial que tengan pocos factores y un gran número de variables por factor (Lorenzo-Seva et al., 2011). Incluso en algunos casos se recomienda usar como complementario del análisis paralelo, en especial cuando se busca evaluar los modelos iniciales (Auerswald & Moshagen, 2019; Wilderjans, Ceulemans, & Meers, 2013).

- MAP. El principio del procedimiento es extraer tantos factores de la matriz de correlación sean necesarios para que esta última se componga principalmente de varianza no sistemática, siendo su ventaja es que no se basa en autovalores a diferencia de los anteriores, sin embargo, siempre debería evaluarse su resultado en conjunto con otros indicadores (Warne y Larse, 2014; Loehin y Beaujean, 2017).

Basados en indicadores de ajuste. Los indicadores de ajuste permiten conocer como los datos obtenidos por el investigador reproducen una estructura propuesta, es decir, que tanto los datos obtenidos se ajustan a un modelo o teoría, donde si bien estos indicadores se suelen usar en el AFC, en opinión de algunos autores se recomiendan también para el AFE dado que al establecer un número determinado de factores a extraer se está probando una estructura factorial (Ferrando & Anguiano-Carrasco, 2010), naturalmente sin las relaciones ítem-factor especificadas como podrían hacerse en el AFC.

Estos incluyen una gran familia como Chi Cuadrado, su significancia, *Goodness-of-Fit Index* (GFI) y el *Comparative Fit Index* (CFI), con sus respectivas versiones ajustadas, como el *Adjusted Goodness of Fit Index* (AGFI) y *Adjusted Comparative Fit Index* (ACFI), *Normed Fit Index* (NFI), *Tucker Lewis Index* (TLI), *Bayesian Information Criterion* BIC, así como indicadores de error, a saber; *Root Mean Square Error of Approximation* (RMSEA) y *Standardized Root Mean Residual* (RSMR), en la mayoría de las ocasiones bastará tomar unos cuantos – y no todos – en función a ciertas condiciones (ver Hair et al., 2019, y Ferrando et al., 2022).

D. Métodos de extracción de varianza.

Existe una amplia cantidad de métodos para extraer la varianza; componentes principales, factorización por imagen, factorización por alfa, entre otros. Sin embargo, se presentan aquellos que se han establecido en psicología, esto según lo explicado por Ferrando et al. (2022), Lloret-Segura et al. (2014) y Shellbom y Tellegen (2018), los cuales proponen que estos métodos se pueden dividir en dos vertientes;

- Máxima Verisimilitud (ML). Cuenta con una alta popularidad en su implementación dada su flexibilidad y precisión ante el sesgo, siendo su principal limitación la necesidad de normalidad multivariada, aunque existe una versión robusta cuando no se cumple este supuesto (MLR).
- Mínimos Cuadrados, basan su estimación en la ausencia de normalidad, los tres principales métodos principales son; No Ponderados (ULS) para muestras pequeñas (200 a 1000 sujetos), Ponderados (WLS) para muestras grandes (>1000) y Diagonal Ponderada (DWLS), que muestra mayor eficiencia que WLS en cuanto a estimación robusta. También existen otras extensiones como Ejes Principales y Mínimos Residuales los cuales muestran resultados similares a ULS.

E. Métodos de rotación.

Al igual que en el caso anterior, existen dos categorías para agrupar la rotación, siendo estas: (a) Ortogonal, que asume la independencia de los factores, en ella se pueden encontrar; Varimax, Quartimax, Equamax y Ortomax, y (b) Oblicua, las cuales implican correlación entre los factores, por mencionar algunas; Oblimin, Promax, Promin y Simplimax. A pesar de su gran diversidad generalmente se tiende a usar Varimax – en el caso de las ortogonales – y Oblimin Directa o Promax – en el caso de las oblicuas – dado que son las más sencillas y tienden a mostrar una mejor lectura de las cargas factoriales (Mulaik, 2018; Gorsuch, 2015).

Programas seleccionados

Para proceder con la comparación se consideraron aquellos programas que cumplieran con los siguientes requisitos: (a) ser un programa con licencia gratuita, (b) contar con una interfaz desarrollada que no implique el uso de sintaxis de programación, (c) tener una actualización o versión en los últimos 12 meses, (d) poder aplicar Análisis Factorial Exploratorio, y (e) Contar con al menos 2 métodos de extracción de varianza en AFE usuales en psicología (apartado anterior sección D). Siendo seleccionados los siguientes programas:

FACTOR 12.01.02 (Fecha de lanzamiento: 22-12-2022). Desarrollado desde 2006 en la Universidad de Rovira I Virgili de la mano de Lorenzo-Seva y de Ferrando, es programa gratuito diseñado exclusivamente para el Análisis Factorial Exploratorio y para Análisis Factorial Semi Exploratorio. A lo largo de los años ha ido integrando mayor cantidad de estadísticos y pruebas para el análisis de ítems, como desarrollo de modelos a través de la Teoría de Respuesta al Ítem (TRI) o bootstrap de intervalos de confianza, índices de ajuste, entre otros aspectos (Ferrando Píera y Lorenzo Seva, 2017; Lorenzo-Seva y Ferrando, 2013).

JAMOVI 2.2.5 (Fecha de lanzamiento: 24-11-2021). Basado en el lenguaje R ofrece opciones de estadística descriptiva (parámetros y gráficos) e inferencial (t de student, anova, regresión, etc). Entre los métodos que se pueden utilizar se encuentran el análisis factorial exploratorio como confirmatorio, e incluso un modulo para modelos de ecuaciones estructurales (SEM, siglas en inglés) y TRI. A diferencia del anterior permite a los usuarios crear, modificar y compartir herramientas de análisis a cualquier usuario a través de la opción “Módulos” (The Jamovi Project, 2021).

JAPS 0.16.1 (Fecha de lanzamiento: 16-02-2022). JAPS es desarrollado por la Universidad de Amsterdam, en términos generales es similar a JAMOVI en cuanto a que se ambos se basan en el lenguaje R, tienen código abierto – con lo que el usuario puede hacer ajustes según su conveniencia – y ofrecen opciones parecidas en cuanto a estimación estadística descriptiva e inferencial, siendo su principal diferenciador es la integración de estadística bayesiana en las opciones de cálculo y el desarrollo de algunos procedimientos específicos (Love et al., 2019). Este contiene un módulo de análisis factorial exploratorio.

Se descartaron los programas Compressive Exploratory Factor Analysis (CEFA), PAST y PSPP dado que no cumplían los criterios.

Comparación

Respecto a la comparación siguiendo el primer criterio – análisis previo de datos – los programas no parecen diferir de manera importante. Al considerar FACTOR se puede apreciar que es el más completo de los tres programas cuando se contrastan los criterios restantes, mostrando una amplia diversificación en los métodos de estimación de matrices, así como en los métodos de determinación de factores, en este último ofrece mayor cantidad de métodos de estimación “objetiva”, así como mayor cantidad de indicadores de ajuste (Ver tabla 1).

En segundo lugar sigue JAPS, que es similar a FACTOR en cuanto al uso de métodos de extracción de varianza, en el que a pesar de que no contienen exactamente los mismos cuentan con varias opciones para métodos para la ausencia de normalidad. Algo similar ocurre cuando se compara los métodos de rotación donde si bien FACTOR contiene un par más, ambos poseen varios de oblicua y de ortogonal. Por último, está JAMOVI que es el que presenta menos opciones para estimar matrices, así como rotaciones, aunque en este último no es una diferencia tan amplia cuando se le contrasta con JAPS.

Tabla 1.
Comparación de criterios para FACTOR, JAMOVI y JAPS.

	FACTOR	JAMOVI	JAPS
Análisis previo de los datos			
Estadísticos descriptivos por ítem/variable	Sí	Sí	Sí
Pruebas de normalidad	Sí	Sí	Sí
KMO del Test	Sí	Sí	Sí
MSA por ítem	Sí	Sí	Sí
Test de Bartlett	Sí	Sí	Sí
Matriz de estimación			
Pearson	Sí	Sí	Sí
Covarianza	Sí	No	Sí
Policórica	Sí	No	No
Método de determinación de factores			
<i>Tradicional</i>			
Criterio de Kaiser	Sí	Sí	Sí
Gráfico de Sedimentación	No	Sí	Sí
<i>Basados en estimación "objetiva"</i>			
Análisis Paralelo	Sí	Sí	Sí
Método de Hull	Sí	No	No
MAP	Sí	No	No
<i>Basados en indicadores de ajuste</i>			
GFI	Sí	No	No
CFI	Sí	No	No
AGFI	Sí	No	No
ACFI	Sí	No	No
BIC	Sí	Sí	Sí
TLI	No	Sí	Sí
RMSR	Sí	No	No
RMSEA	Sí	Sí	Sí
Chi Cuadrado	Sí	Sí	Sí
Métodos de extracción de varianza			
<i>Para normalidad</i>			
Máxima Verisimilitud	Sí	Sí	Sí
<i>Para no normalidad</i>			
Máxima Verisimilitud Robusta (MLR)	Sí	No	No
Mínimos cuadrados No ponderados (ULS)	Sí	Sí	Sí
Ejes Principales	No	Sí	Sí
Mínimos Cuadrados Ponderados (WLS)	No	No	Sí
Mínimos cuadrados Ponderados Diagonalmente (DWLS)	Sí	No	No

Métodos de rotación*Ortogonal*

Varimax	Sí	Sí	Sí
Quartimax	Sí	Sí	Sí
Equamax	Sí	No	Sí
Orthomax	Sí	No	No
<i>Oblicua</i>			
Oblimin	Sí	Sí	Sí
Promax	Sí	Sí	Sí
Promin	Sí	No	No
Simplimax	Sí	Sí	Sí

Fuente. Tabla basada en la elaborada por Lloret et al. (2017).

Ahora bien se deben precisar algunos puntos sobre la comparación.

- Si bien FACTOR muestra en una sola salida los resultados descriptivos (media, desviación, asimetría y curtosis) de cada variable/ítem, en el caso de JAMOVI y JAPS se deben obtener en la sección “descriptivos” y no en la de análisis factorial.
- FACTOR utiliza una prueba de normalidad multivariada denominada el test de Mardia, el cual se basa en la estimación normalizada de la asimetría y de la kurtosis (Marcoulides, 2005; Mardia, 1970). Si bien ni JAMOVI ni JAPS tienen una prueba de multivariada, si cuentan con la prueba Shapiro Wilk que permite evaluar normalidad univariada en cada una de las variables/ítems (Lunneborg, 2005).
- El MAP en FACTOR solo se encuentra disponible para el método de extracción de Componentes Principales.
- El Análisis Paralelo de JAMOVI y JAPS debe usarse con cautela dado que el programa no muestra los resultados del proceso de estimación de este procedimiento, mientras que FACTOR sí, de hecho este último permite la opción usual y la estricta (“percentil 95”).
- Relacionado con el anterior tanto JAMOVI como JAPS muestran en el gráfico de sedimentación los resultados de las “simulaciones” aunque ni en el programa ni en los instructivos revisados a la fecha se indica si corresponden al análisis paralelo. Sin embargo, el problema reside en que no se muestra el número y puede existir imprecisión en esta inspección visual para seleccionar el número de factores.
- Mientras FACTOR dispone de toda una familia derivada de los métodos de rotación (p. e. Varimax cruda, Varimax normalizada, Varimax ponderada, entre otras), JAPS posee opciones alternativas (bentlerT, geominT, etc).

La velocidad de procesamiento de los programas depende de la capacidad de la computadora, en líneas generales JAPS y JAMOVI suelen procesar de manera más rápida la información que FACTOR.

Discusión y conclusiones

El objetivo del presente texto era la evaluación del rendimiento del Análisis Factorial Exploratorio en programas informáticos gratuitos que tuviera una interfaz desarrollada, siendo estos FACTOR, JAMOVI y JAPS en sus últimas versiones. Para ello se delimitaron cinco criterios de comparación, a saber; análisis previo de datos, matriz de estimación, método de determinación de factores, métodos de extracción de varianza y métodos de rotación.

Los resultados indican que no parece haber diferencia en cuanto al análisis previo de datos. Pero al considerar los otros criterios restantes FACTOR es el programa con mayor cantidad de opciones, especialmente en la cantidad de matrices a estimar y en los métodos de determinación de factores. Por lo que ofrece la mayor cantidad de opciones e información resultante en un AFE, aspecto esperado ya que es un programa específicamente diseñado para esto (Ferrando Piera, & Lorenzo Seva, 2017).

Incluso el programa ofrece otras dos ventajas aplicadas en el AFE que no han sido mencionadas hasta ahora. La primera ventaja es la prueba Solomon, cuya función permite evaluar la adecuación de la validación cruzada (Lorenzo-Seva, 2021). Mientras que la segunda es la estimación de dos indicadores complementarios de unidimensionalidad: la Varianza Común Explicada (ECV) y el Porcentaje Esperado de Diferencias Verdaderas (ETPD) (Ferrando y Lorenzo-Seva, 2018; Calderón-Garrido et al., 2019). Estos son aspectos útiles que aportan información adicional en el AFE.

Consecuentemente, JAPS ofrece una cantidad parecida de opciones en métodos de extracción de varianza y una cantidad ligeramente inferior en métodos de rotación en contraste con FACTOR. Mientras que JAMOVI es el que ofrece una menor cantidad de opciones y estadísticos en contraste con los otros dos.

Sin embargo, se debe considerar que tanto JAPS como JAMOVI son programas que incluyen procedimientos generales de estadística descriptiva e inferencial y no están especializados en análisis factorial. Si bien la capacidad de ofrecer estimadores es menor en AFE si se comparan con FACTOR, ambos programas pueden resultar sumamente útiles para que los estudiantes e investigadores realicen otros procedimientos psicométricos como estimación de validez convergente y discriminante a través de correlaciones y de validez predictiva a través de regresiones, estos últimos no se incluyen en FACTOR.

También se debe tener en cuenta que este tipo de programas suele desarrollarse a lo largo del tiempo, en especial JAMOVI y JAPS gracias sus los usuarios, esto implica que en cualquier momento pueden ampliar la cantidad de opciones y estimaciones que ofrecen en el AFE (Richardson y Machan, 2021; Love et al., 2019; Navarro y Foxcross, 2019), por lo que no se desaconseja el uso de estos dos. En su lugar se sugiere que si bien investigadores avanzados pueden usar FACTOR dado el nivel de profundidad en AFE, JAPS puede servir de primera aproximación a los programas de AFE y conjunto con JAMOVI, complementar el resto de procedimientos de análisis psicométrico.

Agradecimiento

A la profesora Luisa Angelucci por sus comentarios al respecto.

Referencias bibliográficas

- American Psychological Association (2016). *Ethical Principles of Psychologists and Code of Conduct*. <https://www.apa.org/ethics/code/ethics-code-2017.pdf>
- Auerswald, M., & Moshagen, M. (2019). How to determine the number of factors to retain in exploratory factor analysis: A comparison of extraction methods under realistic conditions. *Psychological methods*, 24(4), 468-491. www.doi.org/10.1037/met0000200
- Bandalos, D. L. y Finney, S. J. (2018). Factor Analysis Exploratory and Confirmatory. En G. R. Hancock, L. M. Stapleton & R. O. Mueller (eds). *The Reviewer's Guide to Quantitative Methods in the Social Sciences*, pp. 98-122. Routledge.
- Calderón-Garrido, C., Navarro-González, D. N., Lorenzo-Seva, U., y Ferrando-Piero, J. (2019). Multidimensional or essentially unidimensional? A multi-faceted factor-analytic approach for assessing the dimensionality of tests and items. *Psicothema*, 31(4), 450-457. <https://doi.org/10.7334/psicothema2019.153>
- Cohen, M. X. (2017). *MATLAB for brain and cognitive scientists*. MIT Press.
- Domínguez-Lara, S. A. (2014). ¿Matrices policóricas/tetracóricas o matrices Pearson? Un estudio metodológico. *Revista Argentina de Ciencias del Comportamiento (RACC)*, 6(1), 39-48. <https://doi.org/10.32348/1852.4206.v6.n1.6357>
- Echarbaudes Ilizarbe, R. I. (2019). Uso de programas estadísticos en investigación psicológica: ¿software comercial o software libre?. *Revista de Psicología*, 9(1), 107-117. <https://revistas.ucsp.edu.pe/index.php/psicologia/article/view/302>
- Fabrigar, L. R. y Wegener, D. T. (2011). *Exploratory Factor Analysis*. New York: Oxford University Press.
- Ferrando Piera, P. J., & Lorenzo Seva, U. (2017). Program FACTOR at 10: Origins, development and future directions. *Psicothema*, 29(2), 236-240. www.doig.org/10.7334/psicothema2016.304.
- Ferrando Piera, P. J., Lorenzo Seva, U., Hernández Dorado, A., & Muñiz Fernández, J. (2022). Decálogo para el Análisis Factorial de los Ítems de un Test. *Psicothema*, 34(1), 7-17. <https://doi.org/10.7334/psicothema2021.456>
- Ferrando, P. J. & Anguiano-Carrasco, C. (2010). El Análisis Factorial como Técnica de Investigación en Psicología. *Papeles del Psicólogo*, 3(1), 18-33. Recuperado de <http://www.papelesdelpsicologo.es/pdf/1793.pdf>
- Ferrando, P. J. & Lorenzo-Seva, U. (2014). El análisis factorial exploratorio de los ítems: algunas consideraciones adicionales. *Anales de Psicología*, 30(3), 1170-1175. www.doi.org/10.6018/analesps.30.3.199991
- Freiberg-Hoffmann, A., Stover, J. B., De-la-Iglesia, G., & Fernández-Liporace, M. (2013). Correlaciones policóricas y tetracóricas en estudios factoriales exploratorios y confirmatorios. *Ciencias psicológicas*, 7(2), 151-164.

Recuperado de http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?%20pid=S1688-42212013000200005&script=sci_arttext&tlng=en

- Frisendal, T. (2016). *Graph data modeling for NoSQL and SQL: Visualize structure and meaning*. Technics Publications.
- Gaskin, C. J., & Happell, B. (2014). On exploratory factor analysis: A review of recent evidence, an assessment of current practice, and recommendations for future use. *International journal of nursing studies*, 51(3), 511-521. <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2013.10.005>
- Goretzko, D., Pham, T. T. H., & Bühner, M. (2019). Exploratory factor analysis: Current use, methodological developments and recommendations for good practice. *Current Psychology*, 40(7), 3510-3521. www.doi.org/10.1007/s12144-019-00300-2
- Gorsuch, R. L. (2015). *Factor Analysis* (2 ed.). Routledge.
- Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L. & Grablovsky, B. J. (2019). *Multivariate Data Analysis*. Cengage.
- Harrer, M., Cuijpers, P., Furukawa, T. A., & Ebert, D. D. (2021). *Doing meta-analysis with R: a hands-on guide*. Chapman and Hall/CRC.
- Hayton, J. C., Allen, D. G., & Scarpello, V. (2004). Factor retention decisions in exploratory factor analysis: A tutorial on parallel analysis. *Organizational research methods*, 7(2), 191-205. www.doi.org/10.1177/1094428104263675
- Izquierdo, I., Olea, J., & Abad, F. J. (2014). Exploratory factor analysis in validation studies: Uses and recommendations. *Psicothema*, 26(3), 395-400. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4789995>
- Kerlinger, F. N. & Lee, H. B. (2002). *Investigación del Comportamiento Métodos de Investigación en Ciencias Sociales* (4 ed.). México: McGrawHill.
- Ledesma, R. D., Ferrando, P. J., & Tosi, J. D. (2019). Uso del Análisis Factorial Exploratorio en RIDEP. Recomendaciones para autores y revisores. *Revista Iberoamericana de Diagnóstico y Evaluación-e Avaliação Psicológica*, 3(52), 173-180. <https://www.redalyc.org/journal/4596/459661296014/459661296014.pdf>
- Lloret, S., Ferreres, A., Hernández, A., & Tomás, I. (2017). El análisis factorial exploratorio de los ítems: análisis guiado según los datos empíricos y el software. *Anales de Psicología/Annals of Psychology*, 33(2), 417-432. <https://doi.org/10.6018/analesps.33.2.270211>
- Lloret-Segura, S., Ferreres-Traver, A., Hernández-Baeza, A., & Tomás-Marco, I. (2014). El análisis factorial exploratorio de los ítems: una guía práctica, revisada y actualizada. *Anales de Psicología/Annals of Psychology*, 30(3), 1151-1169. www.doi.org/10.6018/analesps.30.3.199361

- Loehlin, J. C. & Beaujean, A. A. (2017). *Latent Variable Models An Introduction to Factor, Path and Structural Equation Analysis*. Routledge.
- Lorenzo-Seva, U. (2021). SOLOMON: a method for splitting a sample into equivalent subsamples in factor analysis. *Behav Res*. <https://doi.org/10.3758/s13428-021-01750-y>
- Lorenzo-Seva, U., & Ferrando, P. J. (2013). Factor 9.2: A comprehensive program for fitting exploratory and semiconfirmatory factor analysis and IRT models. *Applied Psychological Measurement*, 37(6), 497-498. <https://doi.org/10.1177/0146621613487794>
- Love, J., Selker, R., Marsman, M., Jamil, T., Dropmann, D., Verhagen, J., Ly, A., Gronau, Q. F., Šmíra, M., Epskamp, S., Matzke, D., Wild, A., Knight, P., Rouder, J. N., Morey, R. D., & Wagenmakers, E. J. (2019). JASP: Graphical Statistical Software for Common Statistical Designs. *Journal of Statistical Software*, 88(2), 1–17. <https://doi.org/10.18637/jss.v088.i02>
- Lunneborg, C. E. (2005) Distribution-free Inference, an Overview. En B. Everitt & D. Howell (eds). *Encyclopedia of Statistics in Behavioral Science Volume 1*, pp. 506-513. Wiley.
- Marcoulides, G. A. (2005). Structural Equation Modeling: Nonstandard Cases. En B. Everitt & D. Howell (eds). *Encyclopedia of Statistics in Behavioral Science Volume 4*, pp. 1931-1934. Wiley.
- Mardia, K. V. (1970). Measures of multivariate skewness and kurtosis with applications. *Biometrika*, 57(3), 519-530. <https://doi.org/10.1093/biomet/57.3.519>
- Mulaik, S. A. (2018). Fundamentals of common factor analysis. En P. Irwing, T. Booth, D. J. Hughes (eds.). *The Wiley handbook of psychometric testing: A multidisciplinary reference on survey, scale and test development*, pp. 209-251. <https://doi.org/10.1002/9781118489772.ch8>
- Navarro, D. J. & Foxcroft, D. R. (2019). *Learning statistics with jamovi: a tutorial for psychology students and other beginners*. (Version 0.70). DOI: 10.24384/hgc3-7p15
- Peirce, J., Gray, J. R., Simpson, S., MacAskill, M., Höchenberger, R., Sogo, H., ... & Lindeløv, J. K. (2019). PsychoPy2: Experiments in behavior made easy. *Behavior research methods*, 51(1), 195-203. <https://doi.org/10.3758/s13428-018-01193-y>
- Richardson, P., & Machan, L. (2021). *Jamovi for Psychologists*. Bloomsbury Publishing.
- Roig-Fuste, J. M. (2018) *La informática aplicada a la psicología*. Barcelona: Bosch Editor.
- Sellbom, M., & Tellegen, A. (2019). Factor analysis in psychological assessment research: Common pitfalls and recommendations. *Psychological assessment*, 31(12), 1428. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/pas0000623>
- Tabachnick, B. G. & Fidell, L. S. (2019). *Using multivariate statistics* (7 ed.). Pearson.
- The Jamovi Project (2021). *jamovi* (Version 1.6) [Computer Software]. <https://www.jamovi.org>

- Timmerman, M. E., Lorenzo-Seva, U., & Ceulemans, E. (2018). The Number of Factors Problem. En P. Irwing, T. Booth, D. J. Hughes (eds.) *The Wiley Handbook of Psychometric Testing*, 305–324. www.doi.org/10.1002/9781118489772.ch11
- VandenBos, G. R. (2015). *APA concise dictionary of psychology*. American Psychological Association.
- Warne, R. T., & Larsen, R. (2014). Evaluating a proposed modification of the Guttman rule for determining the number of factors in an exploratory factor analysis. *Psychological Test and Assessment Modeling*, 56(1), 104. <https://psycnet.apa.org/record/2014-19867-006>
- Wilderjans, T. F., Ceulemans, E., & Meers, K. (2013). CHull: A generic convex-hull-based model selection method. *Behavior research methods*, 45(1), 1-15. www.doi.org/10.3758/s13428-012-0238-5
- Yong, A. G., & Pearce, S. (2013). A beginner's guide to factor analysis: Focusing on exploratory factor analysis. *Tutorials in quantitative methods for psychology*, 9(2), 79-94. <https://mail.tqmp.org/RegularArticles/vol09-2/p079/p079.pdf>
- Zygmunt, C., & Smith, M. R. (2014). Robust factor analysis in the presence of normality violations, missing data, and outliers: Empirical questions and possible solutions. *The Quantitative Methods for Psychology*, 10(1), 40-55. <https://www.tqmp.org/RegularArticles/vol10-1/p040/>