

## Predicción del rendimiento en cursos STEM: Evidencia de un modelo de ecuaciones estructurales

Achievement prediction in STEM courses: Evidence from a Structural Equation Model

Prevendo o desempenho em cursos STEM: evidências de um modelo de equações estruturais

Carolina Chaves-Ulate  
Universidad de Costa Rica  
ROR <https://ror.org/02yzgww51>  
San José, Costa Rica  
[evelyn.chaves@ucr.ac.cr](mailto:evelyn.chaves@ucr.ac.cr)

 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7783-8093>

Sandra Boza-Oreamuno  
Universidad de Costa Rica  
ROR <https://ror.org/02yzgww51>  
San José, Costa Rica  
[sandra.boza@ucr.ac.cr](mailto:sandra.boza@ucr.ac.cr)

 ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6623-4924>

Bryan Montero-Herrera  
University of North Carolina at Greensboro  
ROR <https://ror.org/04fnxsj42>  
North Carolina, Estados Unidos  
[bgmonterohe@uncg.edu](mailto:bgmonterohe@uncg.edu)

 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2204-4760>

Eiliana Montero-Rojas  
Universidad de Costa Rica  
ROR <https://ror.org/02yzgww51>  
San José, Costa Rica  
[eiliana.montero@ucr.ac.cr](mailto:eiliana.montero@ucr.ac.cr)

 ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6770-792X>

Recibido – Received – Recebido: 20/11/2024 Corregido – Revised – Revisado: 20/02/2025 Aceptado – Accepted – Aprovado: 21/03/2025

DOI: <https://doi.org/10.22458/ie.v27i43.5562>

URL: <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/innovaciones/article/view/5562>

**Resumen:** Las carreras de Microbiología y Química Clínica (MQC) y el Diplomado en Asistente de Laboratorio (DAL) de la Universidad de Costa Rica (UCR) presentan una alta demanda, lo cual amerita contar con criterios que permitan hacer una selección de estudiantes válida, con equidad y excelencia. Por lo tanto, haciendo uso de modelos de ecuaciones estructurales (SEM), se pretende generar evidencia en torno a la validez predictiva de tres pruebas que evalúan diferentes constructos: a) habilidades motoras finas (DM), b) inteligencia fluida (FLUID) y c) memoria de trabajo (MEMO). La correlación estimada entre tiempo de respuesta (TR) y MEMO fue alta y negativa consistente con lo que plantea la teoría de funciones ejecutivas. MEMO y TR predicen de forma relevante la FLUID y las DM. MEMO presenta relaciones directas y altas con ambos constructos endógenos en Química y Biología. TR exhibe relación con FLUID y DM en las dos asignaturas. Para ambas asignaturas, la relación entre TR y FLUID es inversa. La relación entre TR y DM es positiva y de gran magnitud. Diferencias entre los modelos estimados para ambas asignaturas se dan para las relaciones que predicen el rendimiento en Biología o en Química, con MEMO siendo un predictor importante para ambas asignaturas. Las DM no evidenciaron un poder predictivo relevante. La FLUID mostró relación con Química, pero prácticamente nula con Biología. Estos resultados generan evidencia a favor del uso de pruebas que evalúen MEMO y FLUID para la selección de estudiantes en MQC y DAL. No se generó evidencia sobre la relevancia de DM como predictor de rendimiento académico universitario.

**Palabras claves:** adultos jóvenes, memoria de trabajo, inteligencia fluida, destrezas motoras, validez predictiva, química, biología, STEM.

**Abstract:** The degree programs of Microbiology and Clinical Chemistry (MQC) and Diploma in Laboratory Assistant (DAL) of the University of Costa Rica (UCR) present a high demand, which deserves having criteria that allow a valid student selection, with equity and excellence. Therefore, using structural equation models (SEM) it is aimed to generate evidence regarding predictive validity of three tests that assess different constructs: a) fine motor skills (DM), b) fluid intelligence (FLUID), and c) working memory (MEMO). The estimated correlation between response time (TR) and MEMO was high and negative, consistent with what is proposed by the theory of executive functions. MEMO and TR relevantly predict FLUID and DM. MEMO presents direct and strong relationships with both constructs endogenous in Chemistry and Biology. TR exhibits a relationship with FLUID and DM in both subjects. For both subjects, the relationship between TR and FLUID is inverse. The relationship between TR and DM is positive and large. Differences between the estimated models for both subjects are found for the relationships that predict performance in Biology or Chemistry, with MEMO being a significant predictor for both. The DM did not show a significant predictive power. FLUID show relationship with Chemistry, but practically non-existent with Biology. These results provide evidence in favor of using tests that assess MEMO and FLUID for student selection in MQC and DAL. No evidence was generated about the relevance of DM as predictor of university academic performance.

**Keywords:** young adults, working memory, fluid intelligence, motor skills, predictive validity, chemistry, biology, STEM.

**Resumo:** Os programas de Microbiologia e Química Clínica (MQC) e Diplomado em Assistente de Laboratório (DAL) da Universidade da Costa Rica (UCR) apresentam uma alta demanda, o que merece possuir critérios que permitam fazer uma seleção de estudantes válida, com equidade e excelência. Portanto, utilizando modelos de equações estruturais (SEM), pretende-se gerar evidência sobre a validade preditiva de três provas que avaliam diferentes construtos: a) habilidades motoras finas (DM), b) inteligência fluida (FLUID) e c) memória de trabalho (MEMO). A correlação estimada entre o tempo de resposta (TR) e MEMO foi alta e negativa, consistente com o que é proposto pela teoria das funções executivas. MEMO e TR predizem de forma relevante FLUID e DM. MEMO, apresenta relações diretas e altas com ambos os construtos endógenos em Química e Biologia. TR exibe relação com FLUID e DM nas duas disciplinas. Para ambas as matérias, a relação entre TR e FLUID é inversa. A relação entre TR e DM é positiva e de grande magnitude. Diferenças entre os modelos estimados para ambas as disciplinas ocorrem nas relações que predizem o desempenho em Biologia ou Química, sendo o MEMO um preditor importante para ambas as disciplinas. As DMs não evidenciam nenhum poder preditivo relevante. A FLUID mostrou relação com Química, mas praticamente nenhuma com Biologia. Esses resultados fornecem evidências a favor do uso de provas que avaliam MEMO e FLUID para a seleção de estudantes em MQC e DAL. Não foi gerada evidência sobre a relevância da DM como preditor do desempenho acadêmico universitário.

**Palavras-chave:** adultos jovens, memória de trabalho, inteligência fluida, destrezas motoras, validade preditiva, química, biologia, STEM.

## INTRODUCCIÓN

La selección de una carrera profesional es uno de los momentos cruciales para el futuro de cualquier estudiante. Múltiples factores han sido considerados claves para este proceso, entre ellos destacan las oportunidades que otorga una carrera, el prestigio y/o la influencia familiar (Carbonell, 2017; Odiá *et al.*, 2013; Senf *et al.*, 2003). Estos factores que determinan la escogencia de una carrera, comúnmente pueden ser agrupados en extrínsecos, intrínsecos y altruistas (Said-Hung *et al.*, 2017, como se citó en Campos & Solano, 2021). Las motivaciones extrínsecas se relacionan con la labor a realizar propiamente, es decir, aspectos como la remuneración o las vacaciones (Campos & Solano, 2021). Las motivaciones intrínsecas tienen que ver con aspectos propios de la ocupación como el gusto por la labor a realizar (enseñar, curar enfermos, construir edificios, investigar) y las motivaciones altruistas están ligadas a la retribución del individuo a la sociedad (Said-Hung *et al.*, 2017, como se citó en Campos & Solano, 2021). Diversos estudios citados por Ruiz Chaves *et al.* (2024) indican que entre estos factores o motivaciones de escogencia, los que más influyen en las personas estudiantes son el renombre de la institución, lo que familiares y amigos opinen, el interés específico y la proyección laboral de forma principal.

Siendo que una de las motivaciones que más pesan en la elección de carrera es el renombre de la institución educativa, es importante indicar que la Universidad de Costa Rica es la institución pública de educación superior más longeva de Costa Rica, con una trayectoria de 85 años (Universidad de Costa Rica, 2017). Esta institución se

ha posicionado, según el QS World University Ranking 2025, como la mejor universidad a nivel centroamericano y una de las 20 mejores universidades a nivel latinoamericano (Camarillo, 2024). Basándose en el periódico El Observador (Ruiz, 2025), cerca de 41.000 personas, cada año, realizan las pruebas pertinentes para ser admitidas en esta institución. El número de admitidos varía año con año, pero ronda los 10.000, para una población estudiantil aproximada de 44.000 estudiantes de pregrado, grado y posgrado.

Ahora bien, la facultad de Microbiología de la Universidad de Costa Rica (UCR) forma parte de las facultades del área de salud y ofrece dos carreras: la licenciatura en Microbiología y Química Clínica (MQC) y el Diplomado en Asistente de Laboratorio (DAL). La licenciatura en MQC es una de las carreras con mayor demanda y limitado ingreso (60 cupos anuales), mientras que DAL ha tenido históricamente cortes de ingreso mayores a 600 puntos, lo cual la ubica al nivel de muchas licenciaturas en la UCR (López, 2022). La licenciatura en MQC se ofrece a nivel público únicamente en la Universidad de Costa Rica (UCR) y a nivel privado también, solo una universidad la oferta. Para el DAL existen diversas opciones a nivel privado y, a nivel público, solo la UCR la imparte.

Específicamente en la UCR, las carreras de la facultad de Microbiología presentan una alta demanda, por lo cual ameritan contar con criterios específicos que permitan hacer una selección acorde bajo los principios de validez, equidad y excelencia como sucede con carreras como odontología y cirugía, a nivel internacional (Gallagher *et al.*, 2009; Musawi *et al.*, 2019; Stacey *et al.*, 2005). A la fecha, el ingreso a Microbiología y al DAL únicamente lo determina la Prueba de Aptitud Académica (PAA), la cual se aplica por igual a todas aquellas personas que deseen ingresar a una carrera, pero que presenta como desventaja el no contar con elementos específicos para las diferentes carreras. Por tal motivo, es fundamental para la Universidad y las personas aspirantes a las carreras de la facultad de Microbiología contar con pruebas complementarias que incluyan elementos de procesamiento motor y cognitivo para lograr diferenciar más claramente a aquellos individuos con más probabilidades de permanencia y graduación (American Dental Association, 2017; Levanon *et al.*, 2023; Musawi *et al.*, 2019; Stacey *et al.*, 2005).

El procesamiento motor y cognitivo es fundamental para la adecuada ejecución de las tareas de análisis que se realizan en los laboratorios clínicos. En este sentido, se conoce que la destreza motora es la habilidad para manipular objetos de una manera rápida y eficiente (Shumway-Cook & Woollacott, 2007), esta destreza puede subdividirse en destrezas motoras finas y gruesas. La destreza motora fina [DM], definida como el movimiento de grupos musculares pequeños, ha mostrado una consistente asociación positiva con el rendimiento académico, lo cual ha llamado la atención de la comunidad científica (Escolano-Pérez *et al.*, 2020; Macdonald *et al.*, 2018). Recientemente, Zhou y Tolmie (2024), llevando a cabo un estudio longitudinal en una población infantil en el Reino Unido, encontraron que la DM predijo un mejor rendimiento en materias como inglés y ciencias. Precisamente, una de las pruebas que ha resultado tener una correlación alta con el rendimiento académico y/o con las prácticas de laboratorio y profesional es la prueba de destreza manual del Test de Precisión de Purdue ([TPP] (Levanon *et al.*, 2023; Lugassy *et al.*, 2018). Haciendo uso del TPP, Lugassy y colaboradores (2018) encontraron una correlación significativa y positiva con el resultado final de una prueba en estudiantes de odontología. La TPP además de medir la destreza manual, la velocidad motora y la coordinación óculo-manual también puede ser considerada como una prueba que requiere de las funciones ejecutivas (FE), como ha sido reportado de manera previa con una prueba similar llamada el Pegboard Test (Rodríguez-Aranda *et al.*, 2016; Tolle *et al.*, 2020).

Las FE son un conjunto de procesos cognitivos asociados a la selección de conductas dependiendo de las circunstancias y están relacionadas con el rendimiento académico (Pascual *et al.*, 2019). Considerando la propuesta de Miyake y colaboradores (2000), se pueden identificar tres FE principales, las cuales son: la inhibición, que hace alusión a la capacidad de suprimir respuestas usuales o dominantes; la flexibilidad cognitiva, que es una alternancia en la manera en la cual una tarea se resuelve; y la actualización de la memoria de trabajo (MEMO), que requiere un proceso de codificación, manipulación y eliminación constante de la información. Tolle y colaboradores (2020) hacen especial énfasis en el control inhibitorio para resolver la TPP, debido a su alternancia manual y de reglas, sin embargo, la TPP se fundamenta en especial en el control motor y en el control atencional debido a su subvariedad de test (Rodríguez-Aranda *et al.*, 2016), ambos componentes se sustentan mayormente de la MEMO para su correcto desarrollo (Buszard *et al.*, 2017; Marvel *et al.*, 2019; Rodríguez-Aranda *et al.*, 2016). La

MEMO es requerida cuando se lleva a cabo el aprendizaje de un movimiento, ya que de cierta forma al “saturar” dicha memoria el rendimiento en la ejecución de una prueba disminuye (Maxwell *et al.*, 2003). Además, evidencia previa resalta el rol de la MEMO para la ejecución de movimientos precisos (Baldauf & Deubel, 2010), lo cual es fundamental para llevar a cabo de manera satisfactoria tareas de laboratorio que requieren del manejo de instrumentos y técnicas de elevada exactitud.

La MEMO ha sido considerada como un predictor del rendimiento académico. La mayoría de la evidencia proviene de estudios con escolares, los cuales han encontrado que mayores niveles de MEMO se asocian con mejores calificaciones en lenguaje o en matemática (Lechuga *et al.*, 2016; Lopez, 2013). Las investigaciones en poblaciones universitarias considerando la MEMO y rendimiento académico son escasas (Acosta-Echavarría *et al.*, 2020; Ramos-Galarza *et al.*, 2020). Acosta-Echavarría y colaboradores (2020) hallaron asociaciones significativas entre MEMO y rendimiento académico en una muestra de 50 personas estudiantes de psicología. De forma similar, Ramos-Galarza y colaboradores en el 2020, en una muestra de 175 estudiantes universitarios, se logró identificar que baja MEMO predice negativamente el rendimiento académico. Si bien MEMO y DM han mostrado relaciones con el rendimiento académico, como se ha explicado, cabe resaltar que el estudiantado, con independencia de la carrera que curse, vive expuesto a resolver situaciones que resultan novedosas y que requieren de un accionar rápido. Lo anterior hace referencia a la inteligencia fluida (FLUID), la cual es justamente esa capacidad para enfrentar un problema novedoso sin que en esto medie el aprendizaje previo, la experiencia o el conocimiento adquirido. Una gran cantidad de artículos han señalado mejoras en la FLUID debido a un incremento de la MEMO e, inclusive, han comprobado que es “dosis-dependiente” (Au *et al.*, 2015; Jaeggi *et al.*, 2008), lo cual significa que a mayor entrenamiento de la MEMO mayor serán los resultados en la FLUID. Esta relación de transferencia positiva es, en parte posible, debido a la existencia de mecanismos neuronales compartidos entre ambos procesos cognitivos. Las investigaciones indican que regiones cerebrales como la corteza prefrontal y el lóbulo parietal comparten la ejecución de tareas asociadas con FLUID y MEMO, por ende, el entrenamiento de la MEMO puede mejorar la FLUID al fortalecer la eficiencia y la conectividad de estas redes neuronales (Burgess *et al.*, 2011; Kane & Engle, 2002).

La FLUID es un elemento importante para un correcto desenvolvimiento en pruebas que evalúen las DM (Memisevic *et al.*, 2023), la MEMO (Tourva & Spanoudis, 2020) y, por consiguiente, en el rendimiento académico (Romero *et al.*, 2024). Además, la FLUID ha demostrado de manera consistente una relación inversa con el tiempo de respuesta [TR] (Hülür *et al.*, 2019; Khodadadi *et al.*, 2014), lo que indica que a mayor FLUID menor es el TR. Lo anterior puede sustentarse por medio de la Teoría de la Velocidad de Procesamiento (Salthouse, 1996), la cual enfatiza que un procesamiento más rápido conlleva, por consiguiente, a analizar y a responder de manera más pronta y efectiva, viéndose reflejado en tiempos de respuesta menores. Sin embargo, es importante resaltar que esta relación FLUID y TR se ve afectada conforme las personas van envejeciendo (Zimprich & Martin, 2002). Un cambio en la velocidad en TR, sea esta positiva o negativa, tendrá afectaciones directas en otras variables, tal como sucede con las DM. Las investigaciones se han enfocado plenamente en identificar cambios en el TR entre mano dominante y no dominante al presionar un botón, lo cual ha llevado a resultados inconclusos, dado que se han reportado diferencias con la mano dominante (Shen & Franz, 2005; Taniguchi *et al.*, 2001), como también ninguna diferencia entre mano dominante y no dominante (Di Stefano *et al.*, 1980). La literatura, a su vez, ha tratado de dilucidar los mecanismos detrás de estos procesos haciendo comparaciones entre las regiones corticales y subcorticales del cerebro, tanto en hemisferio izquierdo como derecho (Hervé *et al.*, 2005; Shin *et al.*, 2009). A partir de la evidencia planteada, es esperable observar un desempeño mejor con la mano dominante, aunque es importante todavía corroborar como el TR puede predecir las DM en una prueba como la de TPP, pues es una relación no estudiada de forma previa, la cual requiere de una destreza bimanual muy precisa y que aportaría nueva evidencia en el ámbito del procesamiento de la información y, en especial, en el campo de la microbiología, considerando las tareas que se llevan a cabo en los laboratorios.

Una de las pruebas más utilizadas para evaluar la FLUID es la Prueba de Cattell (Cattell & Cattell, 2005), sin embargo, la elaboración de pruebas que se ajusten a parámetros de una población da mayor respaldo a las evidencias que se puedan encontrar. Por tal motivo, el Programa Permanente de Pruebas Específicas de la UCR creó la

Prueba de Razonamiento con Figuras (PRF), la cual pretende ser un indicador del concepto de FLUID a través de la medición de las aptitudes de razonamiento abstracto de los individuos (Montero-Rojas *et al.*, 2013). La PRF pretende valorar la inteligencia individual por medio de pruebas no verbales, donde la persona que realiza la prueba debe percibir la posibilidad de relaciones entre figuras y formas. Siendo así, la PRF ofrece la oportunidad de cumplir con los principios de equidad y excelencia, ya que con los resultados se puede determinar qué personas presentan potencial académico relevante, minimizando el impacto de las realidades socioeconómicas y/o educativas al que se ve o no sometido cada individuo (Montero-Rojas *et al.*, 2013).

Tradicionalmente, las investigaciones asociadas a la predicción del puntaje en un instrumento con respecto a cierto criterio de comportamiento futuro se denominan: de validez predictiva, en las áreas de psicología y educación, y es común que involucren el uso de modelos de regresión múltiple, en donde la variable criterio o dependiente se estima como una función de las variable predictoras o independientes, siendo una de ellas el puntaje en el instrumento en cuestión. La utilización de Modelos de Ecuaciones Estructurales (SEM, por sus siglas en inglés) se ha extendido en prácticamente todas las disciplinas científicas, aunque son más difundidos en las ciencias sociales y del comportamiento (Bollen, 1989; Freedman, 2010; Kaplan, 2009; Mulaik, 2009) y su propuesta para el campo educativo en Costa Rica ya ha sido discutida de forma previa (Montero-Rojas, 2012). Estos modelos representan una valiosa herramienta para estudiar la plausibilidad empírica de teorías complejas que involucran múltiples constructos y diversas hipótesis sobre las relaciones de dependencia (o causalidad) entre ellos. Son en particular útiles en el ámbito de la investigación social y educativa, pues en estos contextos es común que surjan dificultades para llevar a cabo experimentos. Aunque los experimentos son los métodos más adecuados para establecer evidencia de causalidad, al aleatorizar la asignación de los sujetos de estudio a los diferentes grupos, es común que, debido a razones éticas o prácticas, no puedan implementarse en el campo de las ciencias del comportamiento humano. Entonces los SEM representan la posibilidad de generar evidencias a favor de modelos causales, aun cuando el diseño del estudio sea observacional, como en el presente caso, es decir cuando se estudian fenómenos en sus condiciones “naturales” (Kaplan, 2009; Montero-Rojas, 2012).

Bajo este marco de referencia, se planteó como objetivo general de esta investigación establecer si el obtener determinado puntaje en una prueba estandarizada puede predecir de buena manera el éxito y la permanencia de estudiantes en una carrera, en el caso de este estudio, la carrera de Microbiología. En este contexto, se estableció como primer objetivo específico, generar evidencia de cómo tres pruebas, que evalúan diferentes destrezas: a) habilidades motoras finas (*i. e.* DM), b) inteligencia fluida (*i. e.* FLUID) y c) memoria de Trabajo (*i. e.* MEMO), pueden tener validez predictiva en cursos de la carrera de Licenciatura en Microbiología y Química Clínica impartida en la UCR. Como segundo objetivo específico, se pretende aportar claridad sobre una variable que ha sido con frecuencia omitida en los estudios que se proponen identificar factores predictores del rendimiento académico universitario: las destrezas motoras finas. Para ello, se hizo uso de modelos de ecuaciones estructurales (SEM) con el fin de representar planteamientos teóricos complejos, con múltiples constructos y con diversas hipótesis acerca de las dependencias (o causalidades) entre todas ellas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Enfoque metodológico

El diseño del estudio corresponde a una investigación observacional transversal de enfoque cuantitativo (Little, 2013). Observacional porque se estudia el fenómeno en sus condiciones “naturales”, transversal porque se realizan mediciones en un momento dado, sin repeticiones a lo largo del tiempo.

## Selección de la muestra

El estudio abarcó personas estudiantes de primer año que en 2019 ingresaron a cualquiera de las dos carreras que ofrece la Facultad de Microbiología de la Universidad de Costa Rica: Carrera de Licenciatura en Microbiología y Química Clínica (MQC) y la carrera de Diplomado en Asistente de Laboratorio (DAL).

Dado que la participación debía ser totalmente voluntaria, se realizaron ingentes esfuerzos para reclutar a la mayor cantidad de participantes posible, sin embargo dicha tarea resultó bastante compleja pues se requería entre 2 y 3 horas para completar los instrumentos de recolección de datos.

Así las cosas, solamente se logró reclutar un total de 34 personas estudiantes de primer ingreso de las dos carreras que ofrece la Facultad de Microbiología de la Universidad de Costa Rica: carrera de Licenciatura en MQC y la carrera de DAL. De la carrera de MQC participaron 9 hombres y 13 mujeres, mientras que de la carrera de DAL fueron 2 hombres y 10 mujeres.

Las personas participantes tenían entre 17 y 19 años cumplidos a la fecha de la aplicación de las pruebas. Firmaron un consentimiento informado debidamente aprobado por el Comité Ético Científico de la Universidad de Costa Rica, en donde confirmaron su participación voluntaria en la investigación.

Las aplicaciones de los instrumentos a la muestra de estudiantes participantes se realizaron mayormente en el primer semestre del 2019 y, en algunos pocos casos, en un periodo posterior.

El equipo investigador está consciente de la limitación que representa un tamaño de muestra relativamente pequeño y reconoce que los resultados obtenidos en esta investigación son tentativos. A la vez, valora la importancia de replicar el estudio, para confirmar con más contundencia los presentes hallazgos.

## VARIABLES DEL ESTUDIO

Las variables del estudio son los siguientes seis constructos: Actualización de la Memoria de Trabajo (MEMO), Tiempo de Respuesta (TR), Inteligencia Fluida (FLUID), Destrezas Motoras Finas (DM), Rendimiento en Biología (BIOL) y Rendimiento en Química (QUI). Las variables endógenas finales que interesa predecir son precisamente BIOL y QUI, estimándose un modelo estructural separado para cada una de ellas. MEMO, TR, FLUID y DM son los constructos predictores del rendimiento en cada materia, en los modelos de ecuaciones estructurales (SEM), siendo MEMO y TR exógenos, es decir, no son predichos por ninguna variable dentro del modelo, mientras que FLUID y DM son predichos a su vez por MEMO y TR.

A continuación, se presenta la descripción de los instrumentos que se utilizaron para medir cada uno de estos constructos e, igualmente, se explica cuáles fueron los indicadores que se definieron a partir de la aplicación de cada instrumento para operacionalizar empíricamente estos constructos.

## Instrumentos

La escogencia de los instrumentos a utilizar en el estudio estuvo directamente asociada a la necesidad de medir, en forma válida y confiable, los constructos de interés. Tal como se explicó en la Introducción, desde la teoría, los constructos MEMO, TR, FLUID y DM son fundamentales en la ejecución de las tareas de análisis que se realizan en los laboratorios clínicos. A continuación, se describen los instrumentos utilizados y los indicadores generados a partir de ellos, con los cuales se realiza el análisis estadístico por medio de los modelos SEM.

- Test de Actualización de la Memoria de Trabajo Visoespacial (Rodríguez-Villagra, 2017). Se utilizó para medir dos constructos: MEMO y TR. Las personas participantes se sentaron en una silla ajustable frente a una pantalla de computadora ubicada aproximadamente a 36 cm del borde de la mesa. Cada ensayo consistía en tres estímulos, y dentro de un ensayo, cada estímulo tenía que ser actualizado tres veces. El ensayo comenzaba presentando un estímulo que podía variar en forma y color y ubicado en una celda dentro de una cuadrícula visible de 5x5. Se les instruyó a las personas participantes que codificaran el estímulo y la ubicación de la celda durante una fase de codificación, la cual duraba 2 segundos. Inmediatamente después, el estímulo desaparecía y aparecía la presentación de una flecha en la celda central de la matriz de cuadrícula 5x5. Se les solicitó a las personas participantes que desplazaran de forma mental la ubicación del estímulo a un lugar desde su ubicación actual en la dirección indicada por la flecha y recordaran su nueva ubicación. Las flechas podían apuntar a ocho direcciones posibles (por ejemplo, arriba, abajo, izquierda, derecha o diagonal en una de las cuatro direcciones) y podían presentarse: como flechas negras, flechas rojas o flechas negras y rojas (es decir, ensayos mixtos). Una flecha negra indicaba actualizar la ubicación actual del estímulo haciendo clic en una celda en la dirección de la flecha. Una flecha roja indicaba actualizar la ubicación actual del estímulo haciendo clic en una celda en la dirección opuesta a la flecha (Ver Figura 1a). Las flechas permanecían en la pantalla de la computadora por un tiempo máximo de 2000 milisegundos (ms) o hasta que la persona participante respondiera y este era el tiempo de actualización. La respuesta era seguida por un breve intervalo de tiempo libre, con el tiempo asignado determinado por el producto del tiempo de actualización registrado y el parámetro de carga cognitiva. Lo anterior creaba dos condiciones dentro de la misma tarea: una que puede ser vista como alta carga cognitiva, en donde el tiempo de actualización se multiplicaba por 0.15, y el resultado en milisegundos (ms) era el tiempo libre; y la segunda, baja carga cognitiva, en la cual el tiempo libre se calculaba multiplicando el tiempo de actualización por 1.7. Por ejemplo, si una persona participante estaba en un ensayo de alta carga cognitiva y hacía clic en la celda en 1000 ms, el tiempo libre era de 150 ms. Por otro lado, si un ensayo era de baja carga cognitiva y la persona participante hacía clic en la celda en 1000 ms, el tiempo libre era de 1700 ms. Para este estudio, la carga cognitiva se calculó como una sola.

Después de cada ensayo, las personas participantes debían ingresar la posición final de cada estímulo haciendo clic con el *mouse* de la computadora en la celda específica de la cuadrícula (Ver Figura 1b). Después de dar todas las respuestas, se mostraba una retroalimentación presentando cada estímulo junto con un símbolo de verificación o un símbolo de X para respuestas correctas e incorrectas, respectivamente (Ver Figura 1c). Esta última etapa de la tarea marca el final de un ensayo.

Esta prueba descrita anteriormente, fue diseñada en la UCR, por el investigador Odir Rodríguez Villagra y utiliza el *software* Python. En el siguiente enlace, se puede observar un video de la realización de la tarea [https://drive.google.com/drive/folders/19A1jd6m-5JvHR\\_2IZDF0GPPAkwcwibY4t?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/19A1jd6m-5JvHR_2IZDF0GPPAkwcwibY4t?usp=sharing).

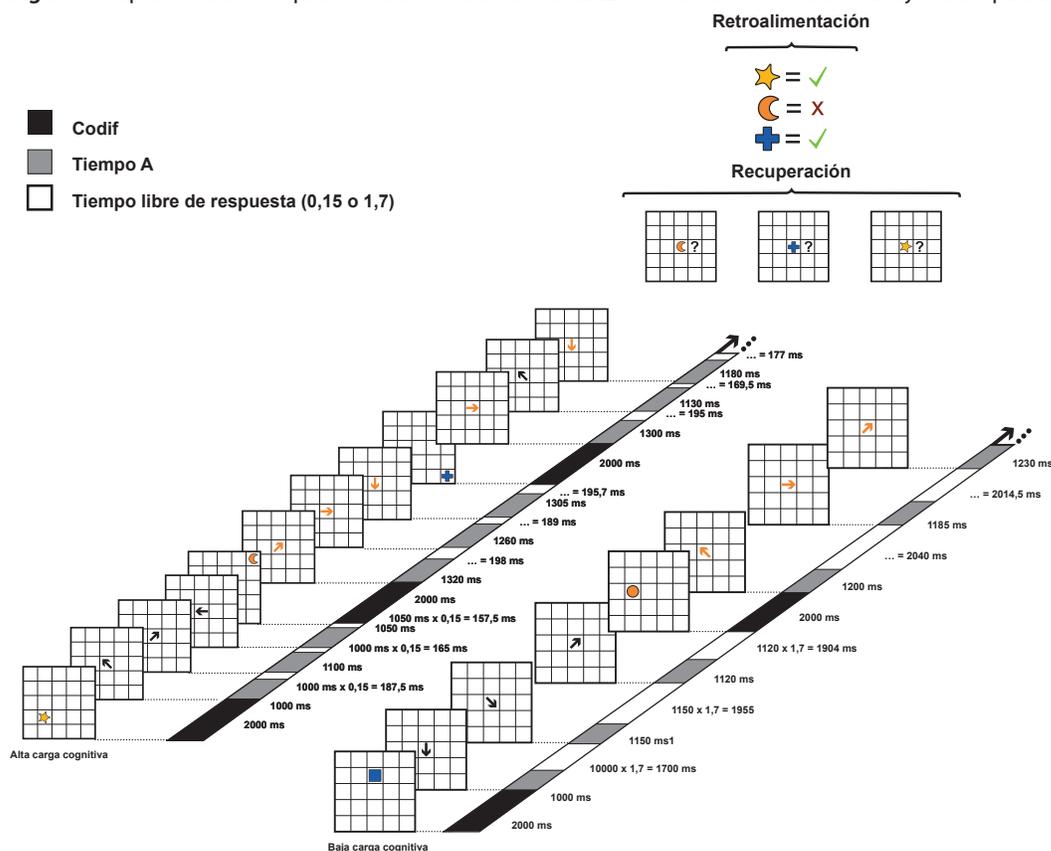
Los indicadores derivados de esta prueba fueron los siguientes: precisión en la actualización de la memoria de trabajo, medido como el porcentaje de respuestas correctas en los ejercicios de actualización, y denominado COR\_ACT, el cual fue el indicador del constructo MEMO; y, tiempo de respuesta tanto para las flechas negras como para las rojas, que generaron consecuentemente dos indicadores para TR llamados: NEGRA y ROJA.

- La Prueba de Razonamiento con Figuras (PRF) se usó para medir el constructo de Inteligencia fluida (FLUID). Fue desarrollada por el Instituto de Investigaciones Psicológicas de la UCR (Montero-Rojas *et al.*, 2013). La PRF es una prueba de papel y lápiz, está fundamentada en la Teoría de la inversión (*Investment Theory*) de Cattell (1963). Consta de cuatro subtests: series, clasificación, condiciones y matrices, los cuales se centran en elementos de operaciones cognitivas de identificación, semejanzas perceptivas, seriación, clasificación, matrices y comparaciones e implican contenidos perceptivos distintos (González *et al.*, 2000). Cada subtest cuenta con un tiempo limitado para su resolución (de 3 a 5 minutos). Su duración no excede los 20 minutos (Villarreal Galera, 2011). Desde la teoría, debe ser un predictor directo de las notas en Biología y en Química (Luo & Zhou, 2020). Se utilizaron como indicadores de FLUID los porcentajes de respuestas correctas en cada uno de los cuatro subtests de la PRF. Los nombres de estos indicadores fueron, respectivamente, PRF1, PRF2, PRF3, y PRF4.

- El Test de Precisión de Purdue (TPP) se empleó para la medición de las Destrezas Motoras Finas (DM). Esta prueba (Tiffin *et al.*, 1948) se caracteriza por emplear un tablero con dos columnas de 25 agujeros cada una. El primer subtest tiene una duración de 30 segundos, las personas participantes deben colocar las clavijas en los agujeros de arriba hacia abajo con la mano dominante. El segundo y tercer subtests tienen la misma duración, sin embargo, las personas participantes harán uso de la mano no dominante y ambas manos respectivamente. Al final, en el cuarto subtest se realiza el ensamblaje de la mayor cantidad posible de arandelas, collares y clavijas en 1 minuto. Si se cae una clavija, el sujeto debe volver a tomar otra, no intentar recogerla del tablero. Los indicadores de esta prueba tienen los siguientes nombres: DOM1, NODOM1, AMBAS1, ENSAM1 y son, respectivamente, el número de clavijas colocadas en 30 segundos: primero con la mano dominante, segundo con la mano no dominante, luego con ambas manos y, finalmente, el número de ensamblajes completados con éxito en un minuto. Desde la teoría existe alguna evidencia de su relación (Flores *et al.*, 2023) con el rendimiento en asignaturas académicas que involucran el uso de la Matemática, como es el caso de Biología y Química.

Como indicadores del rendimiento en Biología y en Química, se usaron en este estudio las notas finales obtenidas por los estudiantes en dichos cursos, tanto en la parte de Teoría como en la parte de Laboratorio. Los indicadores son los siguientes, en ese orden: BIOL\_TEO, BIOL\_LAB, QUI\_TEO y QUI\_LAB.

Figura 1. Representación esquemática de la Tarea de Actualización de la Memoria de Trabajo Visoespacial



Nota. Codif = codificación; Tiempo A = tiempo de actualización. a) Un ensayo completo consistía en tres estímulos para codificación, con cada estímulo requiriendo tres pasos de actualización. b) Recuperación de cada figura. c) Retroalimentación después de completar la fase de recuperación y final del ensayo.

Fuente. Elaboración propia.

## Procedimiento

Para las aplicaciones de los instrumentos, se convocó a las personas participantes en días que fueran apropiados según sus horarios. El hecho de que fueran diversos horarios, matutinos o vespertinos, no se considera relevante en términos de afectar las capacidades cognitivas para resolver las pruebas, pues no existe ninguna evidencia de que ese sea un factor que modera el desempeño en dichos exámenes, siempre que se apliquen bajo condiciones regulares. Tampoco en la documentación que sustenta la validez de las pruebas ni en los protocolos de aplicación, se menciona este factor como una variable a controlar o a tomar en cuenta como parte de la aplicación o de la interpretación de los resultados.

Los grupos en general no fueron mayores a 8 participantes en las pruebas de MEMO y FLUID, mientras que la prueba de DM se aplicó de manera individual. Se realizaron dos mediciones del TPP con al menos 6 meses de diferencia entre ellas.

La prueba de MEMO tuvo una duración de 40 minutos. La prueba de PRF tuvo una duración aproximada de 50 minutos y la prueba de TPP tuvo un tiempo menor a los 15 minutos.

## Análisis de los datos

Como se indicó anteriormente, las variables del estudio fueron los cinco constructos definidos más arriba, con sus respectivos indicadores, generados a partir de la aplicación de los instrumentos correspondientes.

La fundamentación teórica para el planteamiento de las relaciones de causalidad entre los constructos del estudio se presentó en la Introducción.

Dado que se trata de dos grupos de examinados, estudiantes de Microbiología y estudiantes del DAL, y que en el caso de Química no llevan el mismo curso, se decidió promediar Química General 1 y 2 en el caso de los de Microbiología, para hacerla equivalente a Química Aplicada 1, la cual es la asignatura que cursa, en el primer año, el estudiantado de Diplomado. En el caso de las personas estudiantes que repitieron alguno de los cursos, se tomó el promedio de las notas de la primera y segunda vez que lo llevaron.

Los datos resultantes de las aplicaciones de las pruebas fueron digitalizados en formato Excel y luego se convirtieron a formato LISREL.

Los modelos de medición para los constructos TR, FLUID y DM fueron construidos usando el enfoque de parcelas y utilizando los indicadores descritos en la sección de Instrumentación.

En el caso del constructo MEMO, se contaba únicamente con un indicador, de manera que en los modelos estructurales, se definió como medido sin error y con una carga factorial igual a 1.

De esta manera, los archivos finales para estimar los modelos estructurales estuvieron compuestos por 13 indicadores y un tamaño de muestra de 33 para Biología y de 34 para Química.

En los modelos SEM, la tarea operativa consistió en estimar empíricamente los modelos causales a partir de los datos observados, de tal manera que tuvieran consistencia teórica y que, además, brindaran índices de ajuste aceptables.

Su estimación involucró un proceso iterativo que considera dos aspectos fundamentales: una operacionalización adecuada de la teoría y resolver problemas de estimación matemático- estadísticos.

Se utilizó el paquete LISREL 8.80 (Jöreskog & Sörbom, 2006) para la estimación de los modelos estructurales y el método de máxima verosimilitud dado que no hubo grandes desviaciones del supuesto de normalidad en las variables analizadas.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos evidenciaron que las DM no presentan un poder predictivo relevante para las asignaturas de química y biología. Por su parte, la FLUID mostró una relación importante con Química (0,36) y prácticamente nula (-0,02) con Biología.

Las estadísticas descriptivas para cada uno de los indicadores descritos en el apartado anterior, y que se incluyen en la estimación de los modelos estructurales, se muestran en las Tablas 1a y 1b. Se observó que los indicadores presentaron el comportamiento esperado para este tipo de población (estudiantes universitarios), con distribuciones simétricas (de ahí la similitud entre media y mediana) y suficiente variabilidad para la estimación de modelos de ecuaciones estructurales.

### TABLAS 1a y 1b

Estadísticas descriptivas para los indicadores de los constructos utilizados en los modelos estructurales

Tabla 1a

MATERIA		Tiempo de respuesta		Memoria de actualización	Razonamiento con figuras			
		NEGRA	ROJA	COR_ACT	PRF 1	PRF 2	PRF 3	PRF 4
Química	N Válido	34	34	34	34	34	34	34
	Media	1265,08	1455,28	0,62	0,62	0,51	0,75	0,51
	Mediana	1261,15	1488,26	0,66	0,62	0,50	0,77	0,50
	Desviación estándar	134,44	154,99	0,14	0,13	0,12	0,10	0,23
	Mínimo	853,00	1019,22	0,28	0,31	0,21	0,62	0,10
	Máximo	1520,19	1689,50	0,86	0,85	0,79	1,00	1,00
Biología	N Válido	33	33	33	33	33	33	33
	Media	1264,72	1453,95	0,62	0,62	0,52	0,76	0,52
	Mediana	1245,35	1487,41	0,68	0,62	0,50	0,77	0,50
	Desviación estándar	136,50	157,20	0,14	0,14	0,12	0,10	0,23
	Mínimo	853,00	1019,22	0,28	0,31	0,21	0,62	0,10
	Máximo	1520,19	1689,50	0,86	0,85	0,79	1,00	1,00

Nota. Los indicadores derivados de la prueba de memoria de trabajo son NEGRA y ROJA para el constructo Tiempo de Respuesta (TR); y COR\_ACT, porcentaje de correctas en los ejercicios de actualización, para el constructo MEMO.

Los indicadores del constructo FLUID son 4, PRF1, PRF2, PRF3 y PRF4, derivados de la la PRF (Prueba de Razonamiento con Figuras).

Tabla 1b

MATERIA		Destreza motora fina				Rendimiento
		DOM1	NODOM1	AMBAS1	ENSAM1	MATERIA
Química	N Válido	34	34	34	34	34
	Media	14,12	13,03	12,03	29,79	8,68
	Mediana	14,00	13,50	11,00	28,50	8,88
	Desviación estándar	2,13	1,96	3,49	5,67	1,16
	Mínimo	9,00	9,00	8,00	19,00	5,00
	Máximo	19,00	17,00	26,00	44,00	10,00
Biología	N Válido	33	33	33	33	33
	Media	14,06	13,00	12,00	29,88	7,77
	Mediana	14,00	13,00	11,00	29,00	8,00
	Desviación estándar	2,14	1,98	3,54	5,74	1,53
	Mínimo	9,00	9,00	8,00	19,00	2,00
	Máximo	19,00	17,00	26,00	44,00	10,00

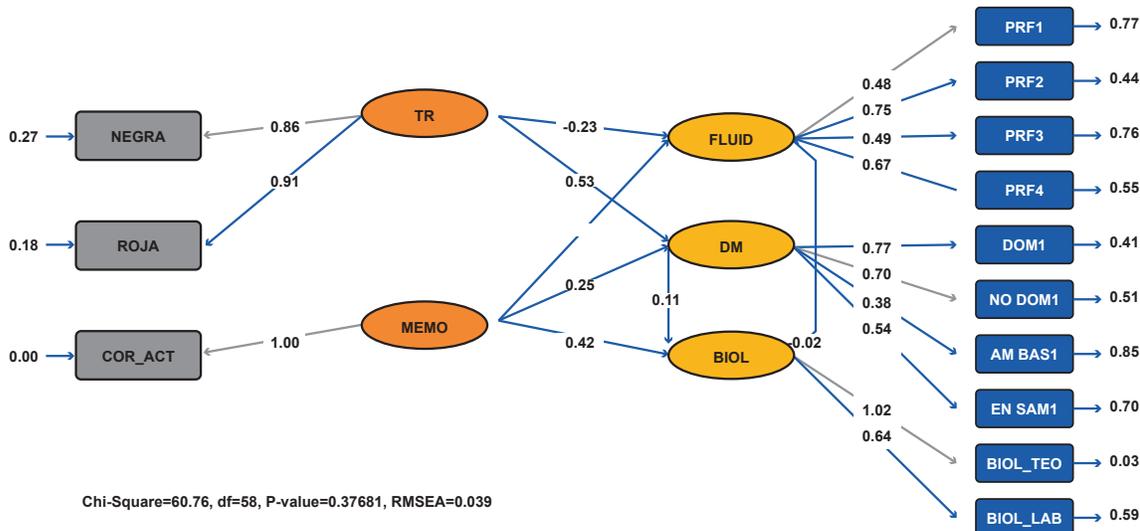
Nota. Los indicadores del constructo de DM también son 4: DOM1, NODOM1, AMBAS1 y ENSAM1, derivados de la aplicación del TPP (Test de Precisión de Purdue).

Los indicadores de los constructos rendimiento en Biología y Química fueron las notas finales en dichas asignaturas, incluyendo tanto la parte de Teoría como la de Laboratorio para cada una.

Fuente. Elaboración propia.

En la Figura 2, se presenta el modelo estructural con coeficientes estandarizados para predecir la nota en biología. Este modelo incluye los constructos exógenos MEMO y TR, así como los constructos endógenos FLUID y DM. Los coeficientes estandarizados muestran la relación entre estos constructos y la nota en biología, destacando la importancia de MEMO como predictor significativo.

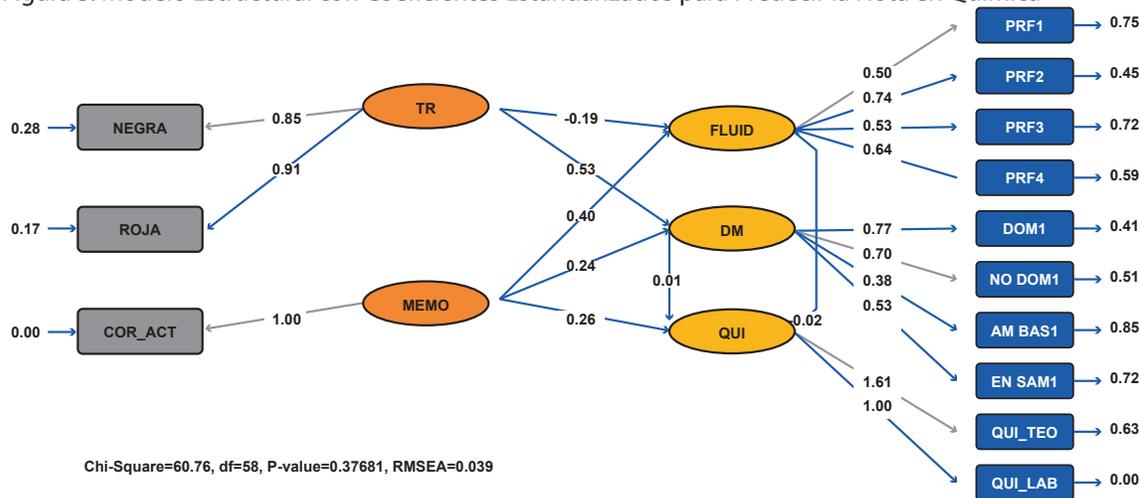
Figura 2. Modelo Estructural con Coeficientes Estandarizados para Predecir la Nota en Biología



Nota. RMSEA= 0,039; Non-Normed Fit Index (NNFI) = 0,70; Comparative Fit Index (CFI) = 0,77; Standardized RMR = 0,12; Goodness of Fit Index (GFI) = 0,77; Adjusted Goodness of Fit Index (AGFI) = 0,65.

En la Figura 3, se presenta un modelo similar al utilizado en biología para predecir la nota en química.

Figura 3. Modelo Estructural con Coeficientes Estandarizados para Predecir la Nota en Química



Nota. RMSEA= 0,048; Non-Normed Fit Index (NNFI) = 0,83; Comparative Fit Index (CFI) = 0,88; Standardized RMR = 0,11; Goodness of Fit Index (GFI) = 0,77; Adjusted Goodness of Fit Index (AGFI) = 0,65.

Estas figuras permiten una comparación directa entre los factores que influyen en el rendimiento de ambas asignaturas.

Es necesario indicar que la correlación estimada entre los dos constructos exógenos (TR y MEMO) fue de -0,47, la misma no se muestra en los gráficos presentados en las figuras, pero vale la pena su mención, dado que el valor relativamente alto y negativo para la asociación entre estos dos constructos es consistente con lo que plantea la teoría en la temática de funciones ejecutivas (FE), tal como se indicó en la Introducción.

Ahora bien, la interpretación sustantiva de estos resultados preliminares también debe darse a la luz de los índices de ajuste de los datos al modelo SEM. En este contexto, es claro que los valores de Chi-cuadrado fueron bajos y no significativos, probablemente debido, en parte, al tamaño pequeño de las muestras, lo cual, por supuesto, afecta también la significancia estadística de los coeficientes estimados. En cuanto al indicador de RMSEA (*Root Mean Squared Error of Approximation*), el cual es quizá uno de los más utilizados, ambos modelos, el de Biología y el de Química, cumplieron con el criterio de ajuste óptimo, pues sus valores fueron menores a 0,05.

Ambas figuras cuentan también con otros de los principales indicadores de ajuste. Se observó que, en las dos asignaturas, no todos ellos llegan a sus valores óptimos, si bien, en general, son bastante cercanos: por ejemplo, Non-Normed Fit Index (NNFI), Comparative Fit Index (CFI), Goodness of Fit Index (GFI) y Adjusted Goodness of Fit Index (AGFI) debieron ser al menos 0,90, y el Standardized Root Mean Square Residual (RMR) debió ser menor a 0,10. Por tanto, será necesario explorar más este asunto una vez que se logre contar con una muestra de mayor tamaño.

Es claro que los modelos de medición para los constructos que poseen más de un indicador son bastante adecuados, pues en todos los casos las cargas factoriales de los indicadores en sus respectivos constructos fueron mayores a 0,40. Lo anterior es evidencia de una medición confiable. También llama la atención la alta correlación entre los cursos de Teoría y Laboratorio para ambas materias, evidenciando que más allá de la diferencia en el nombre, estos cursos comparten una dimensión común muy presente, lo cual toca a su evaluación. Todos estos coeficientes, al ser tan elevados, también son estadísticamente significativos, a pesar del tamaño pequeño de la muestra.

Por otro lado, comparativamente hablando, los resultados fueron bastante similares para ambas asignaturas, cuando se consideraron las relaciones entre los dos constructos exógenos: MEMO y TR y los tres constructos endógenos: FLUID, DM y BIO o QUI, según sea caso de Biología o de Química.

MEMO y TR como constructos exógenos predijeron de forma relevante FLUID y DM. MEMO, según establece la teoría, presenta relaciones directas (positivas) y, relativamente, altas con ambos constructos endógenos en Química y Biología. Ahora bien, quizás debido al bajo tamaño de muestra, estas relaciones no resultaron ser estadísticamente significativas, si bien cumplen con el umbral de importancia práctica, al ser los coeficientes estandarizados mayores a 0,20. Por su parte, TR exhibe una relación directa, de importancia práctica y estadísticamente significativa, con DM en las dos asignaturas, con los coeficientes estructurales estimados más elevados de estos modelos, brindando evidencia contundente sobre la naturaleza de esta relación, al aumentar el TR aumentan las DM. Este resultado fue también consistente desde la teoría, tal y como fue mencionado en la Introducción. El coeficiente que da cuenta de la relación entre TR y FLUID va en la dirección que predice la teoría, indicando, como es de esperar y según lo comentado en la introducción, que a mayor tiempo de respuesta menor FLUID, y es de importancia práctica, pero no es estadísticamente significativa.

Ahora, pasando a la predicción de las notas en Biología y en Química, resaltó la relación de importancia práctica y estadísticamente significativa entre MEMO y la nota en Biología con un coeficiente bastante alto (0,42); mientras que la relación entre DM y la nota en esta asignatura es casi nula, pues se trata de un valor bajo para el coeficiente (0,11) y ausente de significancia estadística, lo mismo se pudo observar para el coeficiente entre FLUID y Biología, la relación es nula. En cuanto a Química, presentó coeficientes relativamente elevados y en la dirección esperada con FLUID y MEMO, 0,36 y 0,26 respectivamente. Es decir, al aumentar cada una, aumenta la nota en esta asignatura, aunque debido quizás al tamaño de la muestra, no son estadísticamente significativos. Y la relación de la nota en esta asignatura con DM fue nula, para los propósitos prácticos.

Definitivamente, las diferencias relevantes entre los modelos estimados para ambas asignaturas se dieron para las relaciones que predijeron el rendimiento en Biología o en Química, según sea el caso, con MEMO representando un predictor importante para ambas asignaturas, pero con una relación más fuerte para Biología.

Tanto para el curso de Biología como para el de Química, se encontró una relación de igual magnitud entre TR y DM, con un valor de 0,53. Aunque, a primera vista, esta asociación directa puede parecer sorprendente, la misma coincide con lo que establecen investigaciones previas, donde se ha demostrado que existe un menor TR cuando hay mayor DM (Rodríguez-Aranda *et al.*, 2016; Tolle *et al.* 2020). Estos constructos son influenciados por la MEMO, como bien lo plantean varios investigadores, porque cuando se aprende un movimiento, el tiempo de ejecución es menor (Buszard *et al.*, 2017; Marvel *et al.*, 2019; Maxwell *et al.*, 2003).

Las relaciones entre MEMO y DM fueron prácticamente iguales para ambos cursos, de 0,25 para el curso de Biología y de 0,24 para el curso de Química. Estos resultados también son consistentes con la literatura, como lo plantearon Maxwell y colaboradores (2003) y Baldauf y Deubel (2010), donde se comenta que la memoria ayuda a la ejecución de movimientos más precisos, lo cual se traduce en la realización de tareas motoras finas de manera satisfactoria. Lo anterior se respalda en que la MEMO es un sistema de control atencional, y al mismo tiempo presenta una capacidad limitada, lo cual conlleva a que información o procedimientos novedosos, distracciones, instrucciones, o múltiples tareas, puedan alterar su efectividad y generar resultados negativos, esto en términos de efectividad (Buszard *et al.*, 2017; Yun *et al.*, 2010). Cuando la MEMO presentó una capacidad mayor, infiere positiva y directamente en la velocidad del procesamiento de la información, pues sus niveles de atención no se ven desregulados y conllevan a mantener múltiples instrucciones a la vez, sin que estas se afecten de forma mutua, disminuyendo la posible tasa de error y aumentando, *per se*, la ejecución de la destreza (Buszard *et al.*, 2017; Seidler *et al.*, 2012; Spencer, 2020). Esto se respalda con el grado de complejidad del TPP, donde se realizaron 4 pruebas que, aunque tenían un componente diferente cada una, aumentaban en niveles de ensamblajes, de alternancia manual y de reglas, esto permite evidenciar la relación entre los constructos citados con anterioridad a través del control motor y el control atencional.

En cuanto a los constructos MEMO y FLUID y la relación entre ellos, no se encontró mayor diferencia en ambas asignaturas, reportándose 0,36 para el curso de Biología y 0,40 para el curso de Química. Lo anterior también coincide con la literatura, donde se espera que a mayor capacidad de procesamiento, mejores resultados en habilidades básicas de razonamiento. En nuestro estudio, se utilizó la PRF para FLUID y la prueba de actualización de la memoria de trabajo visoespacial para MEMO. Según documentan varios autores, esta relación de transferencia positiva se da gracias a que se fortalece la eficiencia y la conectividad de redes neuronales en el cerebro produciendo una dosis dependiente entre estos constructos (Au *et al.*, 2015; Burgess *et al.*, 2011; Jaeggi *et al.*, 2008; Kane & Engle, 2002). Además, otros posibles mecanismos por los cuales la MEMO influye de manera positiva en la FLUID, se puede deber a la hipótesis de la capacidad o al control atencional. En el caso de la hipótesis de la capacidad, Unsworth y colaboradores (2014) mencionan que personas con una mayor capacidad en su MEMO mantienen más información y ocasiona que la FLUID pueda atender de forma simultánea múltiples objetivos u hipótesis sin que la información se deteriore mentalmente; sin embargo, esta teoría no ha sido del todo respaldada como en tiempo reciente lo demostraron Burgoyne y colaboradores (2019). La segunda hipótesis, y que posiblemente tome más relevancia como lo proponen Burgoyne y colaboradores (2019), es la del componente atencional (Engle, 2018). La MEMO tiene un componente atencional muy significativo, por lo tanto, si una persona puede mantener información relevante o remover componentes que ya no tienen importancia en la tarea, beneficiará directamente su desempeño. Tal y como sucedería que a mayor componente atencional mayor facilidad para cambiar de una hipótesis a otra con el objetivo de resolver la tarea y evitando al mismo tiempo distractores o interferencia proactiva (Burgoyne *et al.*, 2019).

Por su parte, el fundamento para la relación directa entre memoria de trabajo y rendimiento en contextos escolares es uno de los resultados más ampliamente conocidos y confirmados en estudios previos, si bien, tal como fue mencionado en la introducción, las investigaciones en poblaciones universitarias no son abundantes. Un funcionamiento más eficiente en términos de FE posibilitará mayor aprendizaje y mejores resultados académicos. Por tanto, es de esperarse que se presenten asociaciones positivas (directas), tales como las halladas en este caso. Una de las explicaciones para sustentar la falta de estudios en términos de cognición en poblaciones universitarias es porque la literatura propone que adultos jóvenes (18-30 años) presentan un pico en su cognición (*i. e.*, efecto techo), provocando que los resultados no muestren cambios significativos, como sí podría suceder con mayor frecuencia en niños y en adultos mayores (Ferguson *et al.*, 2021). Lo anterior también hizo notar la deficiencia en un campo tan importante para las personas en su desarrollo académico y profesional, pues no se identifican posibles limitantes que puedan existir.

## CONCLUSIONES

Los hallazgos corroboraron la importancia de la MEMO para predecir las notas en Biología y en Química, sin embargo, la FLUID solo presentó una relación fuerte con Química, siendo prácticamente nula en Biología. Estos hallazgos sugieren que las intervenciones educativas que mejoren la MEMO y FLUID podrían tener un impacto positivo en el desempeño del estudiantado en cursos STEM. El hecho de que la FLUID no haya predicho Biología contradice la teoría y hace pensar en el tema de la variable criterio, o variable a predecir, en este caso el constructo que está representado en ese indicador de rendimiento, una vez que se controla la capacidad de procesamiento representada por la MEMO, no se muestra relación entre la FLUID y la nota en dicho curso. Además, la falta de relación significativa entre las DM y el rendimiento académico indica que otros factores, como la MEMO y la FLUID, pueden ser más determinantes en el éxito académico en estas disciplinas.

Los anteriores hallazgos representan un primer punto de evidencia a favor del uso de pruebas que evalúen la MEMO y la FLUID como parte del proceso de selección de estudiantes en ambas carreras. Dado que se trata, además, de constructos que son menos afectados por las oportunidades educativas previas de estudiantes, podrían favorecer también procesos de equidad en el acceso a la UCR. Un plan de acción que puede surgir de estas evidencias es el desarrollo de programas remediales diseñados para mejorar las destrezas del estudiantado

que ingresa a cursos STEM. Dado que la MEMO y la FLUID son predictores importantes del rendimiento académico, las intervenciones que se centren en mejorar estas habilidades podrían ayudar a nivelar las diferencias entre estudiantes y aumentar sus posibilidades de éxito académico. Estos programas remediales podrían incluir programas de entrenamiento cognitivo, talleres de habilidades de estudio y estrategias de aprendizaje personalizadas.

Este estudio proporciona insumos valiosos para futuras investigaciones en el campo de las ciencias de la educación. Los hallazgos sobre la relación entre MEMO, FLUID y el rendimiento académico en cursos STEM pueden servir como base para estudios adicionales que exploren intervenciones específicas para mejorar estas habilidades. Además, la falta de relación significativa entre las DM y el rendimiento académico sugiere la necesidad de investigar otros factores que puedan influir en el éxito en estas disciplinas. Estos resultados pueden contribuir a una mejor comprensión de los factores que afectan el rendimiento académico y a la creación de estrategias educativas más efectivas.

Las pruebas aplicadas en este estudio, como la evaluación de MEMO y FLUID, han demostrado ser herramientas valiosas para predecir el rendimiento académico en cursos STEM. La validez y la fiabilidad de estas pruebas sugieren que pueden ser utilizadas en otros contextos educativos para identificar áreas de mejora y desarrollar intervenciones específicas. Además, como se especificó anteriormente, se promueve la apertura de cursos de programas remediales que permitan la nivelación del estudiantado, promoviendo así la equidad y el éxito académico. La aplicación de estas pruebas en investigaciones futuras puede contribuir de forma significativa a la mejora de la educación en ciencias, proporcionando datos precisos y relevantes para la toma de decisiones educativas.

## CONTRIBUCIÓN DE LAS PERSONAS AUTORAS

Carolina Chaves-Ulate: conceptualización, análisis formal, captación de fondos, investigación, metodología, administración del proyecto, recursos, supervisión, validación, visualización, redacción - borrador original, redacción - revisión y edición final.

Sandra Boza-Oreamuno: conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, recursos, supervisión, validación, visualización, redacción - borrador original, redacción - revisión y edición final.

Bryan Montero-Herrera: conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, recursos, software, validación, visualización, redacción - borrador original, redacción - revisión y edición final.

Eiliana Montero-Rojas: conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, recursos, supervisión, validación, visualización, redacción - borrador original, redacción - revisión y edición final.

## REFERENCIAS

- Acosta-Echavarría, Á. A., & Mejía-Toro, W. A. (2020). Memoria de trabajo y rendimiento académico, en estudiantes universitarios pertenecientes a una institución privada del Municipio de Bello, Antioquia. *Pensamiento Americano*, 13(25), 90-100. <https://doi.org/10.21803/pensam.13.25.392>
- American Dental Education Association. (2017). ADEA policy statements: Recommendations and guidelines for academic dental institutions (with changes approved by the 2015 ADEA House of Delegates). *Journal of Dental Education*, 81(7), 869-881.

- Au, J., Sheehan, E., Tsai, N., Duncan, G. J., Buschkuhl, M., & Jaeggi, S. M. (2015). Improving fluid intelligence with training on working memory: a meta-analysis. *Psychonomic bulletin & review*, 22, 366-377. <https://doi.org/10.3758/s13423-014-0699-x>
- Baldauf, D., & Deubel, H. (2010). Attentional landscapes in reaching and grasping. *Vision research*, 50(11), 999-1013. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2010.02.008>
- Bollen, K. A. (1989). *Structural equations with latent variables*. John Wiley & Sons.
- Burgess, G. C., Gray, J. R., Conway, A. R. A., & Braver, T. S. (2011). Neural mechanisms of interference control underlie the relationship between fluid intelligence and working memory span. *Journal of Experimental Psychology: General*, 140(4), 674-692. <https://doi.org/10.1037/a0024695>
- Burgoyne, A. P., Hambrick, D. Z., & Altmann, E. M. (2019). Is working memory capacity a causal factor in fluid intelligence? *Psychonomic Bulletin & Review*, 26, 1333-1339. <https://doi.org/10.3758/s13423-019-01606-9>
- Buszard, T., Farrow, D., Verswijveren, S. J., Reid, M., Williams, J., Polman, R., & Masters, R. S. (2017). Working memory capacity limits motor learning when implementing multiple instructions. *Frontiers in psychology*, 8, 1350. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01350>
- Camarillo, B. (2024, 7 de octubre). Universidad tica entre las mejores 20 de latinoamerica. *La República*. <https://www.larepublica.net/noticia/universidad-tica-entre-las-mejores-20-de-latinoamerica>
- Campos-Céspedes, J., & Solano-Gutiérrez, W. (2021). Motivaciones para la elección de carrera por parte del estudiantado de la Escuela de Ciencias de la Educación de la Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica. En W. Ruiz, & G. Ulloa (Eds.), *Investigaciones en Educación: experiencias interacciones y escenarios para el cambio en la práctica docente en Costa Rica* (pp. 96-117). Universidad Estatal a Distancia. <https://investiga.uned.ac.cr/cined/wp-content/uploads/sites/9/2021/06/INVEST-EN-EDUCACION.pdf>
- Carbonell, Y. L. (2017). Factores que influyen a la hora de escoger una carrera universitaria: una perspectiva nacional. *ACTAS*, 4, 1-15.
- Cattell, R. B., & Cattell, A. K.S. (2005). *Test de factor "g" escala 3. Manual* (5ta ed.). TEA.
- Cattell, R. B. (1963). Theory of fluid and crystallized intelligence: A critical experiment. *Journal of Educational Psychology*, 54(1), 1-22. <https://doi.org/10.1037/h0046743>
- Di Stefano, M., Morelli, M., Marzi, C. A., & Berlucchi, G. (1980). Hemispheric control of unilateral and bilateral movements of proximal and distal parts of the arm as inferred from simple reaction time to lateralized light stimuli in man. *Experimental Brain Research*, 38, 197-204. <https://doi.org/10.1007/BF00236741>
- Engle, R. W. (2018). Working memory and executive attention: A revisit. *Perspectives on psychological science*, 13(2), 190-193. <https://doi.org/10.1177/1745691617720478>
- Escolano-Pérez, E., Herrero-Nivela, M. L., & Losada, J. L. (2020). Association between preschoolers' specific fine (but not gross) motor skills and later academic competencies: Educational implications. *Frontiers in Psychology*, 11, 543755. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01044>
- Ferguson, H. J., Brunson, V. E., & Bradford, E. E. (2021). The developmental trajectories of executive function from adolescence to old age. *Scientific reports*, 11(1), 1382. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80866-1>
- Flores, P., Coelho, E., Mourão-Carvalho, M. I., & Forte, P. M. (2023). Preliminary adaptation of motor tests to evaluate fine motor skills associated with mathematical skills in preschoolers. *European Journal of Investigation in Health, Psychology and Education*, 13(7), 1330-1361. <https://doi.org/10.3390/ejihpe13070098>
- Freedman, D. A. (2010). *Statistical Models and Causal Inference: A dialogue with the Social Sciences*. Cambridge University Press.
- Gallagher, A. G., Leonard, G., & Traynor, O. J. (2009). Role and feasibility of psychomotor and dexterity testing in selection for surgical training. *ANZ journal of surgery*, 79(3), 108-113. <https://doi.org/10.1111/j.1445-2197.2008.04824.x>

- González, M. R., Aragón, L. E., & Silva, A. (2000). Baremación del test de inteligencia factor «g» de Cattell, en la zona metropolitana de la ciudad de México. *Psicothema*, 12(2), 275-278.
- Hervé, P. Y., Mazoyer, B., Crivello, F., Perchey, G., & Tzourio-Mazoyer, N. (2005). Finger tapping, handedness and grey matter amount in the Rolando's genu area. *Neuroimage*, 25(4), 1133-1145. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.12.062>
- Hülür, G., Keye-Ehing, D., Oberauer, K., & Wilhelm, O. (2019). The effect of stimulus-response compatibility on the association of fluid intelligence and working memory with choice reaction times. *Journal of Cognition*, 2(1), 1-19. <https://doi.org/10.5334/joc.66>
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J., & Perrig, W. J. (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(19), 6829-6833. <https://doi.org/10.1073/pnas.0801268105>
- Jöreskog, K. G., & Sörbom, D. (2006). *LISREL 8.80 for Windows* [Computer software]. Scientific Software International, Inc.
- Kane, M. J., & Engle, R. W. (2002). The role of prefrontal cortex in working-memory capacity, executive attention, and general fluid intelligence An individual-differences perspective. *Psychonomic bulletin & review*, 9(4), 637-671. <https://doi.org/10.3758/BF03196323>
- Kaplan, D. (2009). *Structural equation modeling: foundations and extensions* (2nd ed.). Sage.
- Khodadadi, M., Ahmadi, K., Sahraei, H., Azadmarzabadi, E., & Yadollahi, S. (2014). Relationship between intelligence and reaction time; a review study. *International Journal of Medical Reviews*, 1(2), 63-69. [https://www.ijmedrev.com/article\\_68880\\_bff0a3fc587803a00172cb2d2acb56d5.pdf](https://www.ijmedrev.com/article_68880_bff0a3fc587803a00172cb2d2acb56d5.pdf)
- Lechuga, M. T., Pelegrina, S., Pelaez, J. L., Martín-Puga, M. E., & Justicia, M. J. (2016). Working memory updating as a predictor of academic attainment. *Educational Psychology*, 36(4), 675-690. <https://doi.org/10.1080/01443410.2014.950193>
- Levanon, Y., Lugassy, D., Pilo, R., Nassar, R., Mhana, A., Maria, Z., & Brosh, T. (2023). Assessment of the modified O'Connor Tweezer Dexterity and Purdue Pegboard test for use among dental students. *Journal of Dental Education*, 87(4), 533-539. <https://doi.org/10.1002/jdd.13137>
- Little, T. D. (2013). *The Oxford Handbook of Quantitative Methods in Psychology* (Vol. 1). Oxford Library of Psychology. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199934874.001.0001>
- López, M. (2022, 30 de junio). Estas son las carreras de mayor demanda laboral, según universidades públicas y privadas. *La República*. <https://www.larepublica.net/noticia/estas-son-las-carreras-de-mayor-demanda-laboral-segun-universidades-publicas-y-privadas>
- López, M. (2013). Rendimiento académico: su relación con la memoria de trabajo. *Actualidades investigativas en educación*, 13(3), 168-186. [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1409-47032013000300008&script=sci\\_abstract&tlng=es](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1409-47032013000300008&script=sci_abstract&tlng=es)
- Lugassy, D., Levanon, Y., Pilo, R., Shelly, A., Rosen, G., Meirowitz, A., & Brosh, T. (2018). Predicting the clinical performance of dental students with a manual dexterity test. *PloS one*, 13(3), e0193980. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193980>
- Luo, W., & Zhou, R. (2020). Can working memory task-related EEG biomarkers measure fluid intelligence and predict academic achievement in healthy children? *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 14. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2020.00002>
- Macdonald, K., Milne, N., Orr, R., & Pope, R. (2018). Relationships between motor proficiency and academic performance in mathematics and reading in school-aged children and adolescents: A systematic review. *International journal of environmental research and public health*, 15(8), 1603. <https://doi.org/10.3390/ijerph15081603>
- Marvel, C. L., Morgan, O. P., & Kronemer, S. I. (2019). How the motor system integrates with working memory. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 102, 184-194. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.04.017>

- Maxwell, J. P., Masters, R. S. W., & Eves, F. F. (2003). The role of working memory in motor learning and performance. *Consciousness and cognition*, 12(3), 376-402. [https://doi.org/10.1016/S1053-8100\(03\)00005-9](https://doi.org/10.1016/S1053-8100(03)00005-9)
- Memisevic, H., Dedic, A., & Malec, D. (2023). The relative strengths of relationships between fine motor skills, working memory, processing speed and fluid intelligence in early elementary school children. *Perceptual and Motor Skills*, 130(4), 1386-1399. <https://doi.org/10.1177/003151252311812>
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive psychology*, 41(1), 49-100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Montero-Rojas, E. (2012). Los modelos de ecuaciones estructurales como herramienta para explorar posibles relaciones causales en investigación educativa: Una ilustración con datos de PISA 2009 en Costa Rica. En *Cuarto Informe del Estado de la Educación, 2012*. Programa Estado de La Nación (PEN). Consejo Nacional de Rectores.
- Montero-Rojas, E., Castelain, T., Moreira, T. E., Alfaro-Rojas, L., Cerdas-Núñez, D., García-Segura, A., & Roldán-Villalobos, M. G. (2013). Evidencias iniciales de validez de criterio de los resultados de una Prueba de razonamiento con figuras para la selección de estudiantes indígenas para la Universidad de Costa Rica y el Tecnológico de Costa Rica. *Revista Educación*, 37(2), 103-117. <https://doi.org/10.15517/revedu.v37i2.12928>
- Mulaik, S. A. (2009). *Linear causal modeling with structural equations*. CRC Press Taylor & Francis Group.
- Musawi, A., Barrett, T., Nurrohman, H., Bhatia, S., & Smith, K. (2019). Assessing likelihood of using the Bruininks-Oseretsky test of motor proficiency to predict preclinical performance of dental students. *Clinical and Experimental Dental Research*, 5(5), 513-518. <https://doi.org/10.1002/cre2.217>
- Odia, J. O., & Ogiedu, K. O. (2013). Factors affecting the study of accounting in Nigerian Universities. *Journal of Educational and Social Research*, 3(3), 89. <https://doi.org/10.5901/jesr.2013.v4n3p89>
- Pascual, A., Moyano Muñoz, N., & Quílez Robres, A. (2019). The relationship between executive functions and academic performance in primary education: Review and meta-analysis. *Front Psycho*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01582>
- Ramos-Galarza, C., Acosta-Rodas, P., Bolaños-Pasquel, M., & Lepe-Martínez, N. (2020). The role of executive functions in academic performance and behaviour of university students. *Journal of Applied Research in Higher Education*, 12(3), 444-455. <https://doi.org/10.1108/JARHE-10-2018-0221>
- Rodríguez-Aranda, C., Mittner, M., & Vasylenko, O. (2016). Association between executive functions, working memory, and manual dexterity in young and healthy older adults: an exploratory study. *Perceptual and motor skills*, 122(1), 165-192. <https://doi.org/10.1177/0031512516628370>
- Rodríguez-Villagra, O. A. (2017). *Capacidad de memoria de trabajo: Causas de olvido y procesos inhibitorios*. Informe Final Proyecto 837-B4-337. Universidad de Costa Rica.
- Romero, M., Casadevante, C., & Santacreu, J. (2024). Time Management, Fluid Intelligence and Academic Achievement. *Psychological Studies*, 69(1), 59-68. <https://doi.org/10.1007/s12646-023-00764-0>
- Ruiz-Chaves, W., Ocampo-Hernández, C., Acuña-Sossa, M., Campos-Céspedes, J., Madriz-Bermúdez, L., Barrantes-Gutiérrez, J., & Gallardo-Allen, E. (2024). *Factores motivacionales para la selección de universidad: el caso de una universidad latinoamericana*. IX Encuentro de Investigación Educativa, San José. [https://investigacion.uned.ac.cr/cined/wp-content/uploads/sites/9/2024/05/MEMORIA-IXENCUENTRO-FINAL\\_ok.pdf](https://investigacion.uned.ac.cr/cined/wp-content/uploads/sites/9/2024/05/MEMORIA-IXENCUENTRO-FINAL_ok.pdf)
- Ruiz, P. (2025, 2 de febrero). 4 aspirantes por un cupo: así lucharon los estudiantes para ingresar a la UCR, que dispuso 10.352 plazas. *El Observador*. <https://observador.cr/4-aspirantes-por-un-cupo-asi-lucharon-los-estudiantes-para-ingresar-a-la-ucr-que-dispuso-10-352-plazas/#:~:text=De%20acuerdo%20con%20datos%20solicitados,41.807%20se%20presentaron%20a%20hacerlo>
- Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological review*, 103(3), 403-428. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.103.3.403>

- Seidler, R. D., Bo, J., & Anguera, J. A. (2012). Neurocognitive contributions to motor skill learning: the role of working memory. *Journal of motor behavior, 44*(6), 445-453. <https://doi.org/10.1080/00222895.2012.672348>
- Senf, J. H., Campos-Outcalt, D., & Kutob, R. (2003). Factors related to the choice of family medicine: a reassessment and literature review. *The Journal of the American Board of Family Practice, 16*(6), 502-512. <https://doi.org/10.3122/jabfm.16.6.502>
- Shen, Y. C., & Franz, E. A. (2005). Hemispheric competition in left-handers on bimanual reaction time tasks. *Journal of Motor Behavior, 37*(1), 3-9. <https://doi.org/10.3200/JMBR.37.1.3-9>
- Shin, H. W., Sohn, Y. H., & Hallett, M. (2009). Hemispheric asymmetry of surround inhibition in the human motor system. *Clinical neurophysiology, 120*(4), 816-819. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2009.02.004>
- Shumway-Cook, A., & Wool-Iacott, M. H. (2007). *Motor Control: Translating Research into Clinical Practice* (3rd ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- Spencer, J. P. (2020). The development of working memory. *Current directions in psychological science, 29*(6), 545-553. <https://doi.org/10.1177/09637214209598>
- Stacey, D. G., & Whittaker, J. M. (2005). Predicting academic performance and clinical competency for international dental students: seeking the most efficient and effective measures. *Journal of Dental Education, 69*(2), 270-280. <https://doi.org/10.1002/j.0022-0337.2005.69.2.tb03913.x>
- Taniguchi, Y., Burle, B., Vidal, F., & Bonnet, M. (2001). Deficit in motor cortical activity for simultaneous bimanual responses. *Experimental brain research, 137*, 259-268. <https://doi.org/10.1007/s002210000661>
- Tiffin, J., & Asher, E. J. (1948). The Purdue Pegboard: norms and studies of reliability and validity. *Journal of applied psychology, 32*(3), 234. <https://doi.org/10.1037/h0061266>
- Tolle, K. A., Rahman-Filipiak, A. M., Hale, A. C., Kitchen Andren, K. A., & Spencer, R. J. (2020). Grooved Pegboard Test as a measure of executive functioning. *Applied Neuropsychology: Adult, 27*(5), 414-420. <https://doi.org/10.1080/23279095.2018.1559165>
- Tourva, A., & Spanoudis, G. (2020). Speed of processing, control of processing, working memory and crystallized and fluid intelligence: Evidence for a developmental cascade. *Intelligence, 83*, 101503. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2020.101503>
- Universidad de Costa Rica. (2017, noviembre). *Historia*. <https://www.ucr.ac.cr/acerca-u/historia-simbolos/historia.html>
- Unsworth, N., Fukuda, K., Awh, E., & Vogel, E. K. (2014). Working memory and fluid intelligence: Capacity, attention control, and secondary memory retrieval. *Cognitive psychology, 71*, 1-26. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2014.01.003>
- Villarreal Galera, M. P. (2011). *Construcción de un modelo psicométrico cognitivo para una prueba de inteligencia fluida* [Trabajo final de graduación]. Maestría en Evaluación Educativa. Facultad de Educación. Universidad de Costa Rica.
- Yun, R. J., Krystal, J. H., & Mathalon, D. H. (2010). Working memory overload: fronto-limbic interactions and effects on subsequent working memory function. *Brain imaging and behavior, 4*, 96-108. <https://doi.org/10.1007/s11682-010-9089-9>
- Zhou, Y., & Tolmie, A. (2024). Associations between Gross and Fine Motor Skills, Physical Activity, Executive Function, and Academic Achievement: Longitudinal Findings from the UK Millennium Cohort Study. *Brain Sciences, 14*(2), 121. <https://doi.org/10.3390/brainsci14020121>
- Zimprich, D., & Martin, M. (2002). Can longitudinal changes in processing speed explain longitudinal age changes in fluid intelligence? *Psychology and Aging, 17*(4), 690-695. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.17.4.690>