

LA MENTE DEL ESCALADOR: CAMBIOS CEREBRALES, COGNITIVOS Y CONDUCTUALES

THE MIND OF THE CLIMBER: BRAIN, COGNITIVE, AND BEHAVIORAL CHANGES

Recibido el 21 de abril de 2024 / Aceptado el 25 de noviembre de 2024 / DOI: 10.24310/riccafd.13.3.2024.19721
Correspondencia: Lina Becerra-Hernández. linahernandez@javerianacali.edu.co

Millán-Serna, S^{1BC}; Marrugo-Solarte, D^{2BC}; Becerra-Hernández, LV^{3ACF}

¹ Pontificia Universidad Javeriana Cali, Colombia, santiagomillanserna@javerianacali.edu.co

² Pontificia Universidad Javeriana Cali, Colombia, dahiana@javerianacali.edu.co

³ Pontificia Universidad Javeriana Cali, Colombia, linahernandez@javerianacali.edu.co

Responsabilidades

^ADiseño de la investigación. ^BRecolector de datos. ^CRedactor del trabajo. ^DTratamiento estadístico. ^EApoyo económico. ^FIdea original y coordinador de toda la investigación

RESUMEN

La escalada deportiva, más allá de su búsqueda del rendimiento físico, abarca aspectos recreativos, lúdicos y de experimentación gravitacional. Esta actividad puede adoptarse en diversas modalidades, cada una caracterizada por distintos rasgos físicos y de personalidad en los escaladores. En la presente revisión, se documenta la evidencia de que esta actividad afecta la estructura y función cerebral, con cambios en el cerebelo, la corteza parietal, y áreas motoras, sensoriales, visuales y multimodales. También se incluyen los datos sobre la personalidad de los escaladores, que se distingue por la escrupulosidad, extraversión y bajos niveles de neuroticismo. Además, se ha evidenciado que se relaciona con estados cognitivos y afectivos singulares, como mejoras en la atención, memoria y emociones positivas como autoeficacia y logro de metas. Aunque persisten incertidumbres sobre el momento y duración de estos cambios, se discute su relevancia en el rendimiento deportivo del escalador.

PALABRAS CLAVE

cerebro, cognición, conducta, escalada deportiva, escalada en boulder, escalada en roca.



■ ABSTRACT

Sport climbing, beyond its pursuit of physical performance, encompasses recreational, ludic, and gravitational experimentation aspects. This activity can be undertaken in various modalities, each characterized by different physical and personality traits among climbers. The present review documents evidence that this activity impacts the structure and function of the brain, with changes in the cerebellum, parietal cortex, and motor, sensory, visual, and multimodal areas. Personality data of climbers are also included, distinguished by conscientiousness, extraversion, and low levels of neuroticism. Furthermore, it has been evidenced to relate to unique cognitive and affective states, such as improvements in attention, memory, and positive emotions like self-efficacy and goal achievement. Although uncertainties persist regarding the timing and duration of these changes, their relevance in the climber's sports performance is discussed.

■ KEY WORDS

brain, cognition, behavior, sport climbing, bouldering, rock climbing.

■ INTRODUCCIÓN

La escalada engloba el acto de trepar o subir a un lugar alto o poco accesible valiéndose y ayudándose de los pies y las manos, que exige potencia y fuerza muscular, flexibilidad y resistencia aeróbica. Este concepto, trepar, se acerca a lo que hoy en día se entiende por escalada deportiva; una práctica que va más allá de lo meramente físico, que también se considera un juego en la vertical, un juego deportivo y/o recreativo que involucra el movimiento, el peso del cuerpo y la gravitación (1,2). Abarca disciplinas que incluyen la escalada en hielo (donde se utilizan ganchos de mano y calzado especializado para escalar formaciones de hielo), alpinismo (ascenso de montañas), escalada tradicional (ascenso de paredes rocosas durante las cuales el escalador coloca y quita pernos protectores), escalada deportiva (ascenso de paredes naturales y artificiales donde los pernos protectores son previamente colocados y permanentes) y boulder (ascenso de paredes naturales y artificiales de altura restringida, sin necesidad de utilizar cuerda) (3). Las modalidades están en relación con la variabilidad del terreno, las técnicas utilizadas y el material necesario para ascender con seguridad. El presente artículo se basará en la escalada deportiva y el boulder, y sus modalidades en roca y rocódromo, las cuales se caracterizan por rutas de alta dificultad donde el objetivo principal es llegar al punto más alto de una pared rocosa o al final de una ruta marcada (4).



Las rutas de escalada deportiva suelen tener hasta 30 metros de altura y las de boulder no pasan de los 5 metros. En escalada deportiva, el escalador está asegurado a una cuerda que se engancha a pernos permanentes utilizando ‘cintas rápidas’, espaciadas de forma intermitente de abajo hacia arriba (escalada con plomo), o la cuerda está anclada en la parte superior de la ruta, lo que permite que los escaladores que sufran caídas lo hagan de manera segura (5). La escalada se puede realizar sobre formaciones rocosas naturales o sobre rocódromos artificiales con presas elaboradas de forma específica. El rocódromo tiene como objetivo simular la realidad para la práctica controlada de la escalada, permitiendo el desarrollo de las habilidades y capacidades mínimas necesarias para iniciarse en la escalada en entornos naturales. Además, es útil para deportistas que por falta de tiempo o por condiciones ambientales estacionales, como el frío o la lluvia, no pueden realizar esta actividad en su ámbito natural: la montaña (6,7).

Existen diferentes sistemas subjetivos desarrollados por los escaladores para determinar el nivel de dificultad de una ruta de escalada, los cuales consideran la fuerza y resistencia requeridas para completar la ruta, la cantidad de seguros presentes en la ruta, el grado de inclinación de la pared, el tamaño de los agarres y la dificultad técnica de los movimientos (7). Hay estudios que proponen los movimientos de la escalada como esenciales para la evolución global de nuestra especie: la postura erguida, el tronco corto y los brazos largos son adaptaciones musculoesqueléticas que parecen haberse originado para facilitar la locomoción arbórea en nuestros ancestros (8). A nivel profesional, el alcance de los objetivos deportivos en la escalada se ve favorecido por características que se han estudiado en los atletas de alto rendimiento, como el bajo grosor de los pliegues cutáneos y el bajo porcentaje de grasa corporal, así como un gran volumen del antebrazo, principalmente de la musculatura flexora (9). Si bien la escalada también tiene un uso recreativo, como deporte, pretende conseguir la ejecución de movimientos muy difíciles, por lo que la preparación previa en este contexto es fundamental para conseguir su objetivo sin poner en riesgo la integridad física del practicante (10).

La práctica de la escalada deportiva conlleva una complejidad que se refleja en posibles modificaciones estructurales y funcionales en el cerebro del escalador, así como en sus aspectos psicológicos y conductuales. En este artículo, se efectúa una revisión de la literatura científica que describe las modificaciones cerebrales y conductuales asociadas a la escalada deportiva y se incorporan datos provenientes de técnicas de imagen y análisis funcional, así como resultados obtenidos mediante la aplicación de evaluaciones psicológicas. Esta consolidación y organización de datos científicos no solo contribuye a la comprensión



de los efectos de la escalada, sino que permite su aplicación en campos deportivos y terapéuticos potenciales, así como la identificación de lagunas en la investigación actual y direcciones futuras en el campo. La revisión narrativa abarca estudios publicados desde el año 2000, seleccionados a través de búsquedas en PubMed y Scielo utilizando palabras clave específicas. Los idiomas de los artículos incluidos abarcan tanto el inglés como el español.

■ ¿CÓMO LA ESCALADA MOLDEA EL CEREBRO?

En el año 2013, Di Paola y colaboradores examinaron la capacidad de la escalada para inducir modificaciones en áreas específicas del cerebro a través de datos de resonancia magnética de 10 escaladores expertos y 10 individuos de la misma edad sin experiencia en escalada. Se investigaron los volúmenes cerebelosos y la correlación entre la corteza cerebelosa y la totalidad del córtex cerebral mediante la combinación de análisis de regiones de interés y morfometría basada en vóxeles. En comparación con los controles, los escaladores profesionales exhibieron volúmenes significativamente mayores en los lóbulos vermianos I a V, sin observarse diferencias significativas en otros sectores cerebelosos. Este aumento se asoció con un aumento en el área parietal posterior medial derecha de la corteza cerebral (Figura 1). Los cambios anatómicos encontrados se alinearon de manera precisa con las habilidades motoras específicas de la escalada (11). El agrandamiento de los lóbulos vermianos parece estar vinculado a movimientos altamente hábiles de las manos y a la coordinación ojo-mano en la detección y corrección de errores visuo-motores. El agrandamiento simultáneo del área parietal, funcionalmente correspondiente a los sectores somatosensoriales secundarios, estaría relacionado con la actividad paralela en la predicción de las consecuencias sensoriales de la acción para llevar a cabo ajustes en los movimientos. Estos sectores establecen conexiones que estarían en relación con su activación concomitante (12,13).

A pesar de los informes sobre estos cambios y de la amplia documentación que señala que la disfunción cerebelosa conlleva a una coordinación deficiente del rendimiento motor y afecta la adquisición de nuevas habilidades y secuencias motoras, la influencia funcional del cerebelo en la escalada podría no ser determinante y estar sujeta a la interacción con otras variables. Esto se ilustra en un caso de ataxia cerebelosa grave, en el cual el individuo presentó un rendimiento notablemente destacado en la escalada en roca, desafiando así la noción convencional de la relevancia exclusiva del cerebelo en el control motor en este contexto específico (14).



En lo que respecta a la función cerebral, se examinaron las respuestas hemodinámicas y las alteraciones en 13 escaladores avanzados durante la práctica de boulder mediante fNIRS (espectroscopía cercana al infrarrojo funcional). Se realizaron comparaciones entre rutas de escalada simples y moderadas, centrándose en la activación cortical del área sensoriomotora. Los resultados destacaron que la escalada repetitiva activa prácticamente todas las áreas del sistema sensoriomotor, incluyendo la corteza motora primaria bilateral, la corteza premotora y motora suplementaria bilateral, la circunvolución supramarginal y la corteza somatosensorial (Figura 1). Este patrón de activación se observó tanto en modelos de rutas simples como en rutas de escalada moderadas, sin que la complejidad de la tarea tuviera un impacto significativo en el nivel de actividad cortical. Un análisis de correlación reveló una asociación negativa entre el nivel de experiencia y la respuesta hemodinámica en la región motora suplementaria. Esto sugiere que la adquisición de experiencia en la escalada se asocia con una disminución de la actividad en áreas motoras secundarias, indicando un mayor grado de automatismo motor (15).

Se han reportado cambios en procesos de percepción visual en escaladores, a través de pruebas ópticas psicofísicas, que muestran que los escaladores con más experiencia y habilidades superiores perciben mejor los estímulos en el campo visual (16). Esto podría relacionarse con el mayor tiempo que dedican a forzar el sistema visual durante la práctica de la escalada y la complejidad específica de los estímulos a los que se enfrentan en rutas más difíciles, donde los agarres son menos perceptibles y el tiempo para encontrar las mejores secuencias de agarres está limitado. Estos procesos perceptuales se han relacionado en otros contextos con la vía visual ventral (17).

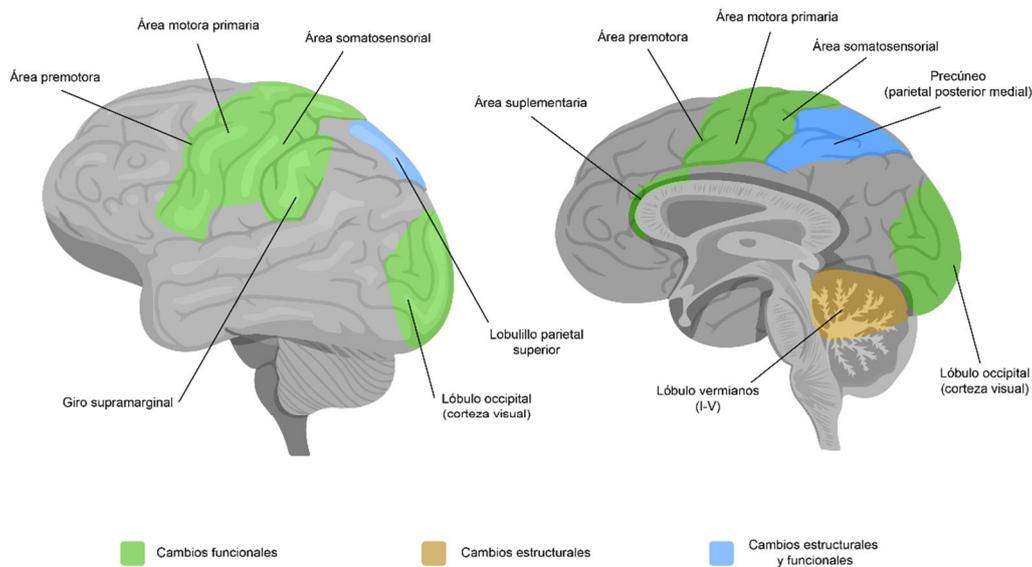


FIGURA 1. Cambios cerebrales estructurales y funcionales relacionados con la práctica de la escalada deportiva.

No hay estudios con otras técnicas funcionales en la población de escaladores reportados hasta el momento. Como dato puntual, en el año 2016, la neurocientífica Jane Joseph realizó una resonancia magnética funcional (fMRI) al mejor escalador en la historia en estilo libre solitario, Alex Honnold, a quien se le reportó una ausencia de activación amigdalina en diferentes tareas. Esto se documentó en la producción audiovisual “Free Solo”, ganadora del premio Oscar, cuyo título es alusivo al estilo de escalada sin cuerdas, modalidad en la cual Honnold ostenta un récord mundial (18). La falta de activación amigdalina podría explicar por qué en este caso particular el individuo no experimenta ninguna sensación de amenaza en las escaladas, incluso en alturas que nadie se atrevería a intentar sin cuerdas. Si bien constituyen información reveladora sobre el funcionamiento cerebral y el procesamiento de miedos y sesgos inconscientes, los hallazgos no son extrapolables a la población general de escaladores.

■ LA PERSONALIDAD DEL ESCALADOR DEPORTIVO

Inicialmente los escaladores se describieron como atletas de alta resistencia mental y bajos niveles de tensión, depresión, ira, confusión y/o alteraciones del estado de ánimo, lo cual fue conocido como “perfil iceberg” (19). Una investigación posterior involucró a 331 escaladores a quienes se les administró un cuestionario en línea a través de Qualtrics para recopilar datos demográficos y respuestas relacionadas con los cinco grandes dominios de la personalidad, según el cuestionario International Personality Item Pool Five Factor Model



(IPIP-FFM). Los resultados señalaron la presencia de cuatro tipos distintos de personalidad en los escaladores: sano, emocionalmente inestable, medido y obediente, curioso e impulsivo. Los escaladores catalogados como “sanos” mostraron puntuaciones significativamente más elevadas en las subescalas de búsqueda de emoción y aventura, así como en búsqueda de experiencia, en comparación con los escaladores emocionalmente inestables, respectivamente (20). Estos datos sugieren que, frente a posibles recompensas y riesgos durante la escalada, los sistemas de aproximación pueden manifestarse a través de una mayor apertura a la experiencia, extraversión y escrupulosidad, mientras que los sistemas de evitación pueden expresarse con una mayor manifestación de neuroticismo que en otros dominios de la personalidad.

Otro estudio evaluó personalidad de escaladores y atletas recreativos utilizando la versión alemana del cuestionario Big Five Inventory (BFI-2) que consta de 60 ítems resumidos en cinco dimensiones: apertura a la experiencia, escrupulosidad, extroversión, amabilidad y neuroticismo. Los escaladores obtuvieron puntuaciones más altas en escrupulosidad con respecto a los atletas, con las mujeres superando a los hombres en esta dimensión. No se observaron diferencias significativas en las otras dimensiones. Esto podría estar vinculado a niveles elevados de autodisciplina y la conciencia adicional podría derivar de la naturaleza potencialmente peligrosa de la escalada, ya que a menudo implica asegurar a un compañero en la ruta, por lo que la escrupulosidad podría desempeñar un papel crucial en la seguridad. Adicionalmente, se identificó una correlación negativa significativa entre la escrupulosidad y el índice de masa corporal (IMC) de los escaladores, lo que podría indicar una relación compleja entre la personalidad y la composición física de los escaladores, donde estos aspectos se influyen mutuamente (21).

También se encontraron datos significativos en un estudio que evaluó a 60 escaladores deportivos mediante el Inventario de Personalidad de los Cinco Grandes (NEO-FFI) en una adaptación polaca. Tanto los escaladores hombres como mujeres se caracterizaron por bajos niveles de neuroticismo y un alto grado de extroversión. Sin embargo, las mujeres presentaron un menor nivel de apertura a la experiencia y disposición a la conciliación, un comportamiento más conservador respecto a las técnicas de escalada y una orientación hacia la rivalidad deportiva más marcada en comparación con los hombres (22). En la escalada, las mujeres se encuentran entre las mejores del mundo, sin distinción de género, una tendencia singular que no se observa en la mayoría de los deportes. Se postula que la destreza de las escaladoras constituye una evidencia de las adaptaciones musculoesqueléticas que evolucionaron a lo largo de la historia humana como respuesta a fuerzas de selección externas, no relacionadas con lo sexual, destinadas a



facilitar movimientos esenciales. Estas adaptaciones atenúan parte del dimorfismo sexual físico general presente en los humanos, sugiriendo así que el cuerpo humano fue, en parte, moldeado por la presión para escalar eficientemente (23, 24).

■ ¿CÓMO SE RELACIONA LA COGNICIÓN, LA EMOCIÓN Y LA ESCALADA DEPORTIVA?

El análisis neuropsicológico proporciona una perspectiva singular de los estados cognitivos y afectivos que emergen de las exigencias de la escalada, así como de su impacto en el rendimiento (Figura 2). Diversos estudios indican que la realización de una ascensión on-sight (sin conocimiento previo ni inspección visual de la ruta) desencadena la respuesta más pronunciada en los escaladores, mientras que una ascensión en modalidad red-point (pre-practicado, el atleta recuerda la ubicación de cada agarre) produce la respuesta más atenuada (25, 26). En términos generales, los efectos de los estímulos de la escalada en el rendimiento individual parecen vincularse con la experiencia, con datos de una mejor predicción para el rendimiento en red-point que en on-sight. La escalada on-sight requiere mayores niveles de habilidades cognitivas, como estrategias de interpretación de ruta, orientación espacial, memoria motriz, habilidades para resolver problemas, pero también mayores niveles de habilidades psicológicas, como manejo del estrés, gestión de riesgos y afrontamiento de la ansiedad (27, 28).



FIGURA 2. Cambios cognitivos y conductuales documentados en relación con la práctica de la escalada deportiva.



En el caso particular de la inteligencia emocional, no se ha mostrado una relación global con la escalada deportiva, pero sí se ha documentado que en el subcomponente de facilitación del pensamiento los escaladores de élite presentan puntajes más bajos en comparación con los escaladores avanzados cuando son evaluados mediante el cuestionario MSCEIT (29). Esto sugiere que los escaladores de élite no usan sus emociones para facilitar el pensamiento, lo cual les permitiría no interactuar con esas emociones ni permitir que interfirieran negativamente con sus recursos de atención. De hecho, la escalada deportiva ha evidenciado un impacto destacado en dos funciones cognitivas fundamentales: la atención y la memoria (30-37).

La atención contribuye a la seguridad, la toma de decisiones, la técnica y la precisión, la resistencia mental y la fluidez en el ascenso (30). Se ha documentado que en la escalada la previsualización de la ruta contribuye a reducir el grado de incertidumbre, percibir y tomar oportunidades de acción y en general optimizar el desempeño. Los recursos cognitivos y el enfoque atencional son necesarios para preparar las tareas o rutas y se ha demostrado que el agotamiento de estos mediante tareas de interferencia afecta el rendimiento en la escalada deportiva (31, 32). Otros factores, como la ansiedad, pueden afectar la atención durante la escalada deportiva, pero principalmente en novatos. En escaladores expertos, por el contrario, los altos niveles de ansiedad previos a una competencia se han asociado con mejora en el rendimiento, siempre y cuando estos estén relacionados con un afecto positivo (33, 34). En 2020, se investigó la relación entre la atención y la capacidad de escalada, considerando posibles factores de confusión en escaladores experimentados. En este estudio, se evaluó la precisión de respuesta y el tiempo de reacción en dos tareas de atención mediante el Vienna Test System, junto con la capacidad de escalada autorreportada en modalidades on-sight y red-point en 35 escaladores. Los modelos de regresión lineal revelaron que la precisión de respuesta, medida en las dos tareas de atención, estaba positivamente relacionada con la capacidad de escalada on-sight autorreportada más alta de los escaladores. Estos datos sugieren que los escaladores de nivel avanzado poseen una atención mejorada, particularmente vinculada al estilo de escalada on-sight (35).

En relación con las tareas de memoria, esta desempeña un papel crucial en la escalada, especialmente en la secuencia de movimientos, la planificación estratégica, la evaluación de riesgos, el control mental y la corrección de errores. Se ha documentado que los escaladores expertos recuerdan más información y la agrupan, centrándose en los aspectos funcionales de la pared de escalada y descuidando características estructurales, mientras que las personas sin experiencia no recuerdan



información agrupada y reportan casi exclusivamente las características estructurales de los agarres (36). La observación o “lectura” de la pared de forma previa a la ejecución de los movimientos juega un papel importante en los procesos de memoria en escalada deportiva y la habilidad para recordar la ruta parece depender del tipo de ruta según los niveles de dificultad, reportándose mejores resultados para rutas fáciles o intermedias que para rutas de mayor dificultad o “imposibles” (37).

En sentido contrario, hay evidencia de que la escalada puede verse afectada por tareas concomitantes de memoria narrativa que no estén asociadas a la escalada. En un estudio realizado en el 2018 se investigó esto en 12 atletas mediante la realización de tres tareas diferentes: una tarea de memoria de 5 minutos, una escalada de 5 minutos y una tarea de escalada con memoria (dual) de 5 minutos y la implementación de pruebas de verdadero/falso sobre eventos para evaluar la memoria y la distancia de ascenso para evaluar la escalada. Con respecto a la memoria narrativa los participantes tuvieron significativamente más respuestas correctas en la condición de tarea única, en comparación con la de tarea dual y con respecto a la escalada, los participantes subieron más lejos en condición de tarea única en comparación con la tarea dual (38). Escalar requiere entonces un esfuerzo ejecutivo para mantener la atención, planificar activamente una ruta y monitorear constantemente la orientación del cuerpo, y también puede requerir no sólo recursos espaciales sino también verbales.

Hay evidencia que sugiere que la escalada facilita la competencia social, la comunicación y la creación de redes, efectos que se relacionan con una mayor duración y frecuencia de las sesiones (39). También se han reportado efectos positivos en patologías como dolor crónico, esclerosis múltiple, depresión, ansiedad, trastorno obsesivo-compulsivo y trastorno por déficit de atención e hiperactividad (39-41). Algunos estudios evidencian respuestas afectivas similares o más altas en afecto positivo y autoeficacia en intervenciones con escalada terapéutica comparada con otras intervenciones como terapia cognitivo-conductual, ejercicio físico aislado, intervenciones de relajación y marcha nórdica en pacientes con problemas de salud mental, principalmente con depresión, utilizando escalas de sentimiento (FS), de excitación sentida (FAS), de afecto positivo y negativo (PANAS), de autoeficacia (SWE) y el inventario de ansiedad estado-rasgo (STAI) (42-45). Los altos niveles de concentración y coordinación requeridos, junto con experiencias tempranas de logro de objetivos, pueden estar involucrados en los efectos reguladores de las emociones a corto plazo, como se ha visto en deportes similares (46).



■ CONCLUSIONES

Las alteraciones en los volúmenes del cerebelo y la corteza parietal están asociadas con la práctica de la escalada deportiva. Sin embargo, aún no se comprende completamente cuándo aparecen por primera vez estos cambios morfométricos ni cuánto tiempo perduran. No podemos determinar si las diferencias estructurales informadas surgen a partir de disparidades en la función o si la divergencia en la función se origina debido a las diferencias estructurales y existe la posibilidad de que ambas tendencias converjan. La capacidad de control motor y la habilidad para anticipar acciones sensoriomotoras, vinculadas a estos cambios cerebelo-parietales, podrían marcar la diferencia entre la supervivencia y la no supervivencia en entornos elevados.

En el ámbito de la cognición, los escaladores experimentados exhiben mejoras en las capacidades atencionales, de monitoreo y en los procesos de memoria vinculados a la ruta de escalada. En cuanto a la personalidad, se destacan la escrupulosidad, la extroversión y niveles bajos de neuroticismo como rasgos comunes. En líneas generales, los escaladores con experiencia demuestran un desempeño superior, presentando niveles significativamente menores de ansiedad tanto cognitiva como somática, y una autoconfianza más elevada en comparación con los principiantes. La relación entre la experiencia, el factor estresante y el rendimiento probablemente se relacione con mayor comprensión de los riesgos asociados con el deporte por parte de los escaladores avanzados, su adaptación a los factores estresantes adquirida mediante la práctica y su habilidad para desempeñarse bien incluso en situaciones de mayor ansiedad.

La intrínseca dificultad de la escalada puede desencadenar emociones intensamente positivas asociadas con el logro de metas y la autoeficacia. Estos elementos contribuyen a la regulación de los esquemas cognitivos propios, sugiriendo que la escalada en roca podría brindar beneficios significativos en la gestión emocional y la mejora del bienestar emocional. Esta evidencia se ha observado en diversos contextos patológicos, siendo especialmente destacada en personas que experimentan depresión.

Entender cómo la escalada deportiva afecta la cognición y el comportamiento puede tener aplicaciones prácticas para entrenadores, atletas, psicólogos del deporte y profesionales de la salud mental que trabajan con escaladores. Puede proporcionar información para desarrollar estrategias de entrenamiento más efectivas o intervenciones para mejorar el rendimiento y el bienestar mental y también puede ser relevante en contextos clínicos y terapéuticos, donde la escalada podría considerarse como una actividad complementaria para mejorar la salud mental.



■ AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos especiales a Elizabeth Serna Collazos, diseñadora industrial, por la realización de las figuras 1 y 2, y al Colectivo Dulfer, grupo de escalada deportiva de la ciudad de Cali, Colombia.

■ REFERENCIAS

1. Núñez VM, Gómez E, Poblador MS, Lancho JL. Respuesta fisiológica durante la escalada deportiva. Arch Med Deporte. 2010;27(135):48-56. http://femede.es/documentos/Revision_respuesta_fisiologica_48_135.pdf.
2. Janot JM, Steffen J, Porcari JP, Maher MA. Heart rate and perceived exertion during indoor climbing fitness and training: heart rate responses and perceived exertion for beginner and recreational sport climbers. J Exerc Physiol Online. 2000 Jan;3(1):1-7. <https://www.asep.org/asep/asep/janot.pdf>.
3. Orth D, Davids K, Seifert L. Coordination in climbing: effect of skill, practice and constraints manipulation. Sports Med. 2016 Feb;46(2):255-68. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0417-5>
4. Cobos-Moreno P, Astasio-Picado Á, Gómez-Martín B. Epidemiological study of foot injuries in the practice of sport climbing. Int J Environ Res Public Health. 2022 Apr 3;19(7):4302. <https://doi.org/10.3390/ijerph19074302>
5. Woollings KY, McKay CD, Emery CA. Risk factors for injury in sport climbing and bouldering: a systematic review of the literature. Br J Sports Med. 2015 Sep;49(17):1094-9. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094372>
6. Beas Jiménez M, Blanes Rubia M. Posibilidades pedagógicas de la escalada en rocódromo. Espiral. Cuadernos del Profesorado. 2010 Jan 21;3(5):59. <http://hdl.handle.net/11162/79713>
7. España-Romero V, Artero EG, Ortega FB, Jiménez-Pavón D, Gutiérrez A, Castillo MJ, Ruiz JR. Aspectos fisiológicos de la escalada deportiva. Rev Int Med Cienc Act Fís Deporte. 2009;9(35):264-98. <http://cdeporte.rediris.es/revista/revista35/artescalada129.htm>
8. Crompton RH, Vereecke EE, Thorpe SK. Locomotion and posture from the common hominoid ancestor to fully modern hominins, with special reference to the last common panin/hominin ancestor. J Anat. 2008 Apr;212(4):501-43. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2008.00870.x>.
9. Saul D, Steinmetz G, Lehmann W, Schilling AF. Determinants for success in climbing: A systematic review. J Exerc Sci Fit. 2019 Jul;17(3):91-100. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2019.04.002>.



10. Gil Gangoso D. Factores de rendimiento asociados a la escalada en roca: Revisión sistemática. [Internet] [Trabajo de grado]. Universidad Zaragoza; 2020. p. 1-34. <https://zaguan.unizar.es/record/98879/files/TAZ-TFG-2020-1357.pdf>.
11. Di Paola M, Caltagirone C, Petrosini L. Prolonged rock climbing activity induces structural changes in cerebellum and parietal lobe. *Hum Brain Mapp.* 2013 Oct;34(10):2707-14. <https://doi.org/10.1002/hbm.22095>.
12. Urgen BA, Orban GA. The unique role of parietal cortex in action observation: Functional organization for communicative and manipulative actions. *Neuroimage.* 2021 Aug 15;237:118220. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2021.118220>
13. Sasaki K, Oka H, Matsuda Y, Shimono T, Mizuno N. Electrophysiological studies of the projections from the parietal association area to the cerebellar cortex. *Exp Brain Res.* 1975 Jul 11;23(1):91-102. <https://doi.org/10.1007/BF00238732>.
14. Lin CY, Kuo SH. The role of the cerebellum in rock climbing. *J Neurol Sci.* 2017 Dec 15;383:158-160. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2017.10.050>.
15. Carius D, Hörnig L, Ragert P, Kaminski E. Characterizing cortical hemodynamic changes during climbing and its relation to climbing expertise. *Neurosci Lett.* 2020 Jan 10;715:134604. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2019.134604>.
16. Marcen-Cinca N, Sanchez X, Otin S, Cimarras-Otal C, Bataller-Cervero AV. Visual Perception in Expert Athletes: The Case of Rock Climbers. *Front Psychol.* 2022 Jul 14;13:903518. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.903518>.
17. Ayzenberg V, Behrmann M. Does the brain's ventral visual pathway compute object shape? *Trends Cogn Sci.* 2022 Dec;26(12):1119-1132. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2022.09.019>.
18. MacKinnon JB. The Strange Brain of the World's Greatest Solo Climber [Internet]. *Nautilus.* 2016. <https://nautil.us/the-strange-brain-of-the-worlds-greatest-solo-climber-236051/>
19. Morgan WP, Brown DR, Raglin JS, O'Connor PJ, Ellickson KA. Psychological monitoring of overtraining and staleness. *Br J Sports Med.* 1987 Sep;21(3):107-14. <https://doi.org/10.1136/bjism.21.3.107>.
20. Rumbold JL, Madigan DJ, Murtagh-Cox A, Jones L. Examining profiles of the big five and sensation seeking among competitive climbers. *Psychol Sport Exerc.* 2021;55:101951. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2021.101>.
21. Steinmetz G, Assmann M, Hubert J, Saul D. Recreational climbers are more conscientious than recreational athletes-a case control



study. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2022 May 25;14(1):94. <https://doi.org/10.1186/s13102-022-00483-5>

22. Marczak M, Ginszt M. Five-factor model personality traits in sport climbers. *J Educ Health Sport.* 2017 Sep 13;7(9):178-83. <https://apcz.umk.pl/JEHS/article/view/4804>.

23. Carroll C. The performance gap in sport can help determine which movements were most essential to human evolution. *Front Physiol.* 2019 Nov 19;10:1412. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01412>.

24. Carroll C. Female excellence in rock climbing likely has an evolutionary origin. *Curr Res Physiol.* 2021 Feb 6;4:39-46. <https://doi.org/10.1016/j.crphys.2021.01.004>.

25. Giles D, Draper N, Gilliver P, Taylor N, Mitchell J, Birch L, et al. Current understanding in climbing psychophysiology research. *Sports Technol.* 2014;7(3-4):108-19. <https://doi.org/10.1080/19346182.2014.968166>.

26. Saul D, Steinmetz G, Lehmann W, Schilling AF. Determinants for success in climbing: A systematic review. *J Exerc Sci Fit.* 2019 Jul;17(3):91-100. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2019.04.002>.

27. Vasile AI, Stănescu M, Pelin F, Bejan R. Cognitive factors that predict on-sight and red-point performance in sport climbing at youth level. *Front Psychol.* 2022 Nov 30;13:1012792. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1012792>.

28. Whitaker MM, Pointon GD, Tarampi MR, Rand KM. Expertise effects on the perceptual and cognitive tasks of indoor rock climbing. *Mem Cognit.* 2020 Apr;48(3):494-510. <https://doi.org/10.3758/s13421-019-00985-7>.

29. Garrido-Palomino I, España-Romero V. Role of emotional intelligence on rock climbing performance. *RICYDE. Revista internacional de ciencias del deporte.* 2019;57(15):284-94. <https://doi.org/10.5232/ricyde2019.05706>.

30. Bourdin C, Teasdale N, Nougier V. Attentional demands and the organization of reaching movements in rock climbing. *Res Q Exerc Sport.* 1998 Dec;69(4):406-10. <https://doi.org/10.1080/02701367.1998.10607715>.

31. Seifert L, Cordier R, Orth D, Courtine Y, Croft JL. Role of route previewing strategies on climbing fluency and exploratory movements. *PLoS One.* 2017 Apr 25;12(4):e0176306. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176306>.

32. Young P. The Effect of Attentional Interference on a Rock Climbing Task: A Pilot Study. *Pamukkale J Sport Sci.* 2012 Jan 16;3(1):10-9. <https://dergipark.org.tr/en/pub/psbd/issue/20576/219227>.



33. Nieuwenhuys A, Pijpers JR, Oudejans RR, Bakker FC. The influence of anxiety on visual attention in climbing. *J Sport Exerc Psychol.* 2008 Apr;30(2):171-85. <https://doi.org/10.1123/jsep.30.2.171>.

34. Sanchez X, Lambert P, Jones G, Llewellyn DJ. Efficacy of pre-ascent climbing route visual inspection in indoor sport climbing. *Scand J Med Sci Sports.* 2012 Feb;22(1):67-72. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01151.x>.

35. Garrido-Palomino I, Fryer S, Giles D, González-Rosa JJ, España-Romero V. Attentional Differences as a Function of Rock Climbing Performance. *Front Psychol.* 2020 Jul 23;11:1550. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01550>.

36. Boschker MS, Bakker FC, Michaels CF. Memory for the functional characteristics of climbing walls: perceiving affordances. *J Mot Behav.* 2002 Mar;34(1):25-36. <https://doi.org/10.1080/00222890209601928>.

37. Sugi T, Nişu A-M, Ishihara M. The effect of simulating climbing movements on rock memory and exploratory movement in rock climbing. *Percept Mot Skills.* 2022;129(3):528-53. <https://doi.org/10.1177/00315125221093909>.

38. Epling SL, Blakely MJ, Edgar GK, Russell PN, Helton WS. Memory impairment during a climbing traverse: implications for search and rescue climbing. *Exp Brain Res.* 2018 Nov;236(11):3043-3052. <https://doi.org/10.1007/s00221-018-5362-8>.

39. Gassner L, Dabnichki P, Langer A, Pokan R, Zach H, Ludwig M, Santer A. The therapeutic effects of climbing: A systematic review and meta-analysis. *PM R.* 2023 Sep;15(9):1194-1209. <https://doi.org/10.1002/pmrj.12891>.

40. Kleinstäuber M, Reuter M, Doll N, Fallgatter AJ. Rock climbing and acute emotion regulation in patients with major depressive disorder in the context of a psychological inpatient treatment: a controlled pilot trial. *Psychol Res Behav Manag.* 2017 Aug 16;10:277-281. <https://doi.org/10.2147/PRBM.S143830>.

41. Aras D, Akalan C. The Effect of Eight Weeks Sport Rock Climbing Training on Daily Physical Activity Level and Energy Consumption. *Turkiye Klinikleri Journal of Sports Sciences.* 2015;7(1):16-23. <https://doi.org/10.5336/sportsci.2015-45301>.

42. Dorscht L, Karg N, Book S, Graessel E, Kornhuber J, Luttenberger K. A German climbing study on depression: a bouldering psychotherapeutic group intervention in outpatients compared with state-of-the-art cognitive behavioral group therapy and physical activation - study protocol for a multicentre randomized controlled trial. *BMC Psychiatry.* 2019 May 17;19(1):154. <https://doi.org/10.1186/s12888-019-2140-5>.

43. Karg N, Dorscht L, Kornhuber J, Luttenberger K. Bouldering psychotherapy is more effective in the treatment of depression than



physical exercise alone: results of a multicentre randomized controlled intervention study. *BMC Psychiatry*. 2020 Mar 12;20(1):116. <https://doi.org/10.1186/s12888-020-02518-y>.

44. Thaller L, Frühauf A, Heimbeck A, Voderholzer U, Kopp M. A Comparison of Acute Effects of Climbing Therapy with Nordic Walking for Inpatient Adults with Mental Health Disorder: A Clinical Pilot Trial. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 June 1;19(11):6767. <https://doi.org/10.3390/ijerph19116767>.

45. Luttenberger K, Karg-Hefner N, Berking M, Kind L, Weiss M, Kornhuber J, Dorscht L. Boulderling psychotherapy is not inferior to cognitive behavioural therapy in the group treatment of depression: A randomized controlled trial. *Br J Clin Psychol*. 2022 Jun;61(2):465-493. <https://doi.org/10.1111/bjc.12347>.

46. Peluso MA, Guerra de Andrade LH. Physical activity and mental health: the association between exercise and mood. *Clinics (Sao Paulo)*. 2005 Feb;60(1):61-70. <https://doi.org/10.1590/s1807-59322005000100012>.