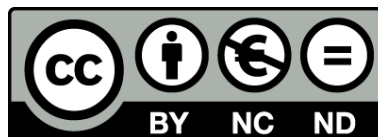




UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Incidencia en el aprendizaje en el aula de estrategias neuroeducativas basadas en la mejora de las funciones ejecutivas

Jesús C. Guillén



Aquesta tesi doctoral està subjecta a la llicència **Reconeixement- NoComercial – SenseObraDerivada 4.0. Espanya de Creative Commons.**

Esta tesis doctoral está sujeta a la licencia **Reconocimiento - NoComercial – SinObraDerivada 4.0. España de Creative Commons.**

This doctoral thesis is licensed under the **Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 4.0. Spain License.**

TESIS DOCTORAL

**Incidencia en el aprendizaje en el aula de estrategias neuroeducativas
basadas en la mejora de las funciones ejecutivas**

Programa de doctorado Educación y Sociedad

Facultad de Educación

Doctorando: Jesús C. Guillén

Directoras: Anna Forés Miravalles y Andrea Paula Goldin

Tutora: Anna Forés Miravalles



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

2022

**Incidencia en el aprendizaje en el aula de estrategias neuroeducativas
basadas en la mejora de las funciones ejecutivas**

Jesús C. Guillén
Anna Forés Miravalles
Andrea Paula Goldin

A mi madre M^a Teresa, gran ejemplo neuroeducativo.

Siempre en mi mente y en mi corazón.

Índice

Resumen	1
Abstract	3
Introducción	7
Objetivos e hipótesis	13
I. MARCO TEÓRICO	15
Capítulo 1. La neurociencia	17
1.1 Historia de la neurociencia	18
1.2 Nacimiento de la neurociencia cognitiva	21
1.2.1 Del conductismo a la psicología cognitiva	22
1.2.2 Emergencia de la neurociencia cognitiva	22
1.3 La década del cerebro	25
Capítulo 2. La neuroeducación	31
2.1 Contextualización	31
2.1.1 Cambio de paradigma	31
2.1.2 Algunos antecedentes importantes	33
2.2 Hallazgos de la neuroeducación	37
2.2.1 El desarrollo del cerebro	37
2.2.2 De la emoción a la cognición	40
2.2.2.1 Emociones	40
2.2.2.2 Atención	41
2.2.2.3 Memoria	42
2.2.3 La conexión cuerpo y cerebro	43
2.2.3.1 Actividad física	44
2.2.3.2 Sueño	45
2.2.3.3 Nutrición	46
2.2.4 La creatividad	47
2.2.5 Competencias académicas	49
2.2.5.1 El cerebro matemático	50
2.2.5.2 El cerebro lector	51
2.3 Controversias	53
2.3.1 Neuromitos	53
2.3.2 Críticas a la neuroeducación	57
2.3.3 Enfoque interdisciplinar de la neuroeducación	62
2.3.3.1 La ruta indirecta	63
2.3.3.2 La ruta directa	64

2.4 Retos y posibilidades de la neuroeducación -----	65
2.4.1 Integración de los diferentes niveles de análisis -----	65
2.4.2 Tipos de ensayos -----	68
2.4.3 Cuestiones éticas -----	69
Capítulo 3. Las funciones ejecutivas -----	73
3.1 Contextualización -----	73
3.2 Tipos de funciones ejecutivas -----	76
3.2.1 Las funciones ejecutivas básicas -----	76
3.2.2 Otras funciones cognitivas -----	79
3.3 Desarrollo de las funciones ejecutivas -----	81
3.4 Evaluación de las funciones ejecutivas -----	84
3.4.1 Controversias -----	84
3.4.2 Procedimientos de evaluación en la infancia -----	85
Capítulo 4. Entrenamiento cognitivo -----	93
4.1 El problema de la transferencia -----	94
4.1.1 Transferencia cercana y lejana -----	94
4.1.2 Condiciones importantes de la intervención -----	96
4.2 Posibles mejoras metodológicas -----	97
4.3 Aplicaciones educativas -----	100
4.4 Mate Marote -----	101
4.4.1 Antecedentes históricos -----	101
4.4.2 La integración del juego en Mate Marote -----	102
4.4.3 Los juegos de estimulación -----	104
4.4.4 La investigación clave -----	108
4.4.4.1 El diseño experimental -----	109
4.4.4.2 Discusión -----	110
4.4.4.3 Deseos de réplica -----	111
II. MARCO METODOLÓGICO -----	113
Capítulo 5. Diseño y enfoque metodológico -----	117
5.1 Justificación del diseño -----	117
5.1.1 Investigación científica en educación -----	117
5.1.2 El reto de la replicabilidad -----	120
5.2 Enfoque metodológico -----	122
5.3 La investigación cuantitativa: métodos y diseños -----	124
5.3.1 Diseños preexperimentales -----	126
5.3.2 Diseños cuasiexperimentales -----	126
5.3.3 Diseños experimentales (puros) -----	126

5.4 El diseño de la investigación -----	128
5.5. Participantes-----	134
Capítulo 6. La recogida de información: instrumentos y procedimientos -----	139
6.1 Técnicas e instrumentos de recogida de datos -----	140
6.2 Los test-----	142
6.2.1 Test child ANT-----	144
6.2.2 Test de Stroop corazón-flor -----	146
6.2.3 Test de Corsi -----	148
6.2.4 Test TONI-4 -----	149
6.3 Información complementaria-----	150
6.3.1 El aprendizaje de los estudiantes -----	150
6.3.2 El estatus socioeconómico de las familias -----	153
6.4 Análisis de datos cuantitativos -----	155
6.4.1 Estadística descriptiva-----	156
6.4.2 Estadística inferencial -----	158
6.4.2.1 Distribución muestral -----	158
6.4.2.2 Nivel de significancia -----	159
6.5 Pruebas paramétricas vs no paramétricas-----	160
6.5.1 Muestras relacionadas-----	162
6.5.2 Muestras independientes-----	163
6.6 Consideraciones éticas -----	164
III. RESULTADOS-----	169
Capítulo 7. Resultados del pretest -----	173
7.1 Test child ANT -----	175
7.1.1 Atención ejecutiva -----	175
7.1.2 Atención de alerta-----	178
7.1.3 Atención de orientación-----	181
7.2 Test de Stroop corazón-flor-----	185
7.2.1 Control inhibitorio -----	185
7.2.2 Flexibilidad cognitiva -----	188
7.3 Test de Corsi-----	191
7.4 Test TONI-4 -----	194
7.5 Informes de las maestras -----	196
Capítulo 8. Efectos de la intervención-----	201
8.1 Test child ANT -----	201
8.1.1 Atención ejecutiva -----	203
8.1.2 Atención de alerta-----	205

8.1.3 Atención de orientación	207
8.2 Test de Stroop corazón-flor	209
8.2.1 Control inhibitorio	210
8.2.2 Flexibilidad cognitiva	213
8.3 Test de Corsi	216
8.4 Test TONI-4	219
8.5 Informes de las maestras	221
IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	225
Capítulo 9. Análisis de los resultados	228
9.1 Discusión de los resultados obtenidos	228
9.1.1 Evaluación de la atención	228
9.1.2 Evaluación de las funciones ejecutivas básicas	232
9.1.3 Evaluación del razonamiento y aprendizaje	236
9.2 Limitaciones, consideraciones generales y direcciones futuras	241
9.3 Conclusiones	245
V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	251

Índice de tablas

Tabla 1. Aportaciones fundamentales en la historia de la neurociencia-----	21
Tabla 2. Niveles de análisis de la neurociencia cognitiva (Álvarez, 2013)-----	24
Tabla 3. Impacto de las funciones ejecutivas en situaciones cotidianas (Cristofori, Cohen-Zimmerman y Grafman, 2019; Diamond, 2013)-----	75
Tabla 4. Diferencias entre el enfoque cuantitativo y el enfoque cualitativo a través de cinco criterios de comparación (Rodríguez, 2003)-----	124
Tabla 5. Diseños experimentales según el grado de control (Salkind, 2012)-----	128
Tabla 6. Distribución de los test y los juegos durante la intervención-----	132
Tabla 7. Clasificación de técnicas e instrumentos de medida (Navarro y Arroyo, 2021) -----	142
Tabla 8. Áreas de conocimiento en la segunda etapa de educación infantil en España-----	152
Tabla 9. Escalas para la estimación del SES familiar (Lipina <i>et al.</i> , 2005)-----	155
Tabla 10. Características de las pruebas paramétricas y no paramétricas (Navarro y Arroyo, 2021)-----	160
Tabla 11. Pruebas estadísticas para la comparación de grupos (Berlanga y Rubio, 2012; Navarro y Arroyo, 2021) -----	161
Tabla 12. Normalidad y homogeneidad entre las muestras para el test child ANT -----	174
Tabla 13. Normalidad y homogeneidad entre las muestras para el test de Stroop corazón-flor -----	174
Tabla 14. Normalidad y homogeneidad entre las muestras para el test de Corsi, el test TONI-4 e informes -----	175
Tabla 15. Regresión lineal para los tiempos de respuesta de la atención ejecutiva en el pretest del test child ANT -----	176
Tabla 16. Análisis de Kruskal-Wallis para los tiempos de respuesta de las tres redes atencionales en el pretest del test child ANT-----	177
Tabla 17. Regresión lineal para la proporción de aciertos de la atención ejecutiva en el pretest del test child ANT -----	178
Tabla 18. Regresión lineal para los tiempos de respuesta de la atención de alerta en el pretest del test child ANT -----	179
Tabla 19. Regresión lineal para la proporción de aciertos de la atención de alerta en el pretest del test child ANT -----	181
Tabla 20. Análisis de Tuckey por grupos y ensayos para la proporción de aciertos de la atención de alerta en el pretest del test child ANT -----	181
Tabla 21. Regresión lineal para los tiempos de respuesta de la atención de orientación en el pretest del test child ANT -----	182
Tabla 22. Análisis de Mann-Whitney de los tiempos de respuesta de la atención de orientación por pares de grupos en el pretest del test child ANT -----	183

Tabla 23. Regresión lineal para la proporción de aciertos de la atención de orientación en el pretest del test child ANT -----	184
Tabla 24. Análisis de Mann-Whitney de la proporción de aciertos de la atención de orientación en el pretest del test child ANT -----	185
Tabla 25. Regresión lineal para los tiempos de respuesta del control inhibitorio en el pretest del test de Stroop corazón-flor-----	186
Tabla 26. Regresión lineal para la proporción de aciertos del control inhibitorio en el pretest del test de Stroop corazón-flor-----	188
Tabla 27. Regresión lineal para los tiempos de respuesta de la flexibilidad cognitiva en el pretest del test de Stroop corazón-flor-----	189
Tabla 28. Regresión lineal para la proporción de aciertos de la flexibilidad cognitiva en el pretest del test de Stroop corazón-flor-----	190
Tabla 29. Regresión lineal para el <i>score</i> en el pretest del test de Corsi -----	192
Tabla 30. Comparación entre pares de escuelas del <i>score</i> en el pretest del test de Corsi ----	192
Tabla 31. Puntaje alcanzado por los participantes en el pretest del test de Corsi -----	192
Tabla 32. Análisis de Kruskal-Wallis para los tiempos de respuesta de los grupos y escuelas en el pretest del test de Corsi-----	193
Tabla 33. Análisis de Mann-Whitney de los tiempos de respuesta por pares de grupos y escuelas en el pretest del test de Corsi-----	194
Tabla 34. Análisis de Kruskal-Wallis para el nivel máximo alcanzado y los tiempos de respuesta en el pretest del test TONI-4-----	195
Tabla 35. Análisis de Mann-Whitney de las notas por grupos y escuelas en el pretest-----	198
Tabla 36. Tiempos de respuesta de los tres grupos para todos los tipos de ensayos en el pretest y posttest del test child ANT-----	202
Tabla 37. Porcentaje de respuestas correctas de los tres grupos para todos los tipos de ensayos en el pretest y posttest del test child ANT-----	202
Tabla 38. Regresión lineal para los tiempos de respuesta de la atención ejecutiva de cada grupo en el posttest del test child ANT -----	203
Tabla 39. Análisis de Wilcoxon por grupo de la proporción de respuestas correctas en los ensayos de las tres redes atencionales en el test child ANT-----	205
Tabla 40. Regresión lineal para los tiempos de respuesta de la atención de alerta de cada grupo en el posttest del test child ANT -----	206
Tabla 41. Análisis de Wilcoxon de los tiempos de respuesta de los ensayos de la atención de orientación para cada grupo en el test child ANT-----	208
Tabla 42. Tiempos de respuesta de los tres grupos para todos los tipos de ensayos en el pretest y posttest del test de Stroop corazón-flor -----	209

Tabla 43. Proporción de respuestas correctas de los tres grupos para todos los tipos de ensayos en el pretest y postest del test de Stroop corazón-flor -----	209
Tabla 44. Regresión lineal para los tiempos de respuesta del control inhibitorio de cada grupo en el postest del test de Stroop corazón-flor -----	210
Tabla 45. Regresión lineal para la proporción de aciertos del control inhibitorio de cada grupo en el postest del test de Stroop corazón-flor -----	212
Tabla 46. Regresión lineal para los tiempos de respuesta de la flexibilidad cognitiva de cada grupo en el postest del test de Stroop corazón-flor -----	214
Tabla 47. Análisis de Wilcoxon del <i>span</i> y <i>score</i> para cada grupo en el test de Corsi -----	216
Tabla 48. Análisis de Mann-Whitney del <i>score</i> por pares de grupos en el postest del test de Corsi -----	217
Tabla 49. Regresión lineal para los tiempos de respuesta de cada grupo en el postest del test de Corsi-----	218
Tabla 50. Análisis de Wilcoxon del nivel máximo y los tiempos de respuesta para cada grupo en el test TONI-4-----	220
Tabla 51. Análisis de Wilcoxon de las notas por grupo -----	222
Tabla 52. Clasificación de los participantes atendiendo a su estatus socioeconómico-----	223

Índice de figuras

Figura 1. Habilidades necesarias en el aprendizaje de la lectura (Nation, 2019) -----	52
Figura 2. Esquema general del método científico comparado con el método que siguen propuestas pseudocientíficas (Bueno, 2019) -----	56
Figura 3. Vías que vinculan la neurociencia con la educación (Thomas, Ansari y Knowland, 2019)-----	63
Figura 4. Niveles de análisis en neuroeducación (Han, Soyly y Anchan, 2019)-----	67
Figura 5. Artículos revisados por pares en PubMed que contienen la palabra “executive functions” entre el 2012 y el 2022 -----	74
Figura 6. Clasificación de las funciones ejecutivas (Diamond, 2013)-----	77
Figura 7. Modelo multicomponente de Baddeley de la memoria de trabajo (Baddeley, 2020) -----	78
Figura 8. Videojuego <i>Avioncito</i> -----	104
Figura 9. Videojuego <i>Memomarote</i> -----	106
Figura 10. Videojuego <i>Casitas</i> -----	107
Figura 11. Videojuego <i>CrazyNut</i> -----	107
Figura 12. Videojuego <i>Snake</i> -----	108
Figura 13. Videojuego <i>Jump-jump</i> -----	108
Figura 14. Diferentes niveles conceptuales en el ámbito metodológico (Ruiz Bueno, 2021)-----	118
Figura 15. Calendario de la intervención-----	130
Figura 16. Tiempo invertido en las tareas realizadas por los estudiantes de las escuelas durante la intervención-----	132
Figura 17. Imágenes de las salas acondicionadas para la intervención en las tres escuelas---	133
Figura 18. Representación esquemática de la versión infantil de la tarea de las redes atencionales ANT (Rueda, 2021) -----	146
Figura 19. Tipos de estadística: descriptiva e inferencial-----	156
Figura 20. Tiempos de respuesta para los ensayos de la atención ejecutiva en el pretest del test child ANT-----	176
Figura 21. Tiempos de respuesta para los ensayos de la atención ejecutiva por grupo y escuela en el pretest del test child ANT-----	177
Figura 22. Proporción de respuestas correctas para los ensayos de la atención ejecutiva en el pretest del test child ANT -----	178
Figura 23. Tiempos de respuesta para los ensayos de la atención de alerta en el pretest del test child ANT-----	179
Figura 24. Tiempos de respuesta para los ensayos de la atención de alerta por grupo y escuela en el pretest del test child ANT-----	180

Figura 25. Proporción de respuestas correctas para los ensayos de la atención de alerta en el pretest del test child ANT -----	180
Figura 26. Tiempos de respuesta para los ensayos de la atención de orientación en el pretest del test child ANT -----	182
Figura 27. Tiempos de respuesta para los ensayos de la atención de orientación por grupo y escuela en el pretest del test child A-----	183
Figura 28. Proporción de respuestas correctas para los ensayos de la atención de orientación en el pretest del test child ANT -----	184
Figura 29. Tiempos de respuesta para los ensayos del control inhibitorio en el pretest del test de Stroop corazón-flor -----	186
Figura 30. Tiempos de respuesta para los ensayos del control inhibitorio por grupo y escuela en el pretest del test de Stroop corazón-flor -----	187
Figura 31. Proporción de respuestas correctas para los ensayos del control inhibitorio en el pretest del test de Stroop corazón-flor-----	187
Figura 32. Proporción de respuestas correctas para los ensayos del control inhibitorio por grupo y escuela en el pretest del test de Stroop corazón-flor -----	188
Figura 33. Tiempos de respuesta para los ensayos de la flexibilidad cognitiva en el pretest del test de Stroop corazón-flor-----	189
Figura 34. Tiempos de respuesta para los ensayos de la flexibilidad cognitiva por grupo y escuela en el pretest del test de Stroop corazón-flor -----	189
Figura 35. Proporción de respuestas correctas para los ensayos de la flexibilidad cognitiva en el pretest del test de Stroop corazón-flor -----	190
Figura 36. Proporción de respuestas correctas para los ensayos de la flexibilidad cognitiva por grupo y escuela en el pretest del test de Stroop corazón-flor -----	191
Figura 37. Puntuación por grupo, escuela y grupo-escuela en el pretest del test de Corsi ----	191
Figura 38. Tiempos de respuesta en función del <i>span</i> en el pretest del test de Corsi -----	193
Figura 39. Nivel máximo alcanzado por grupo y escuela en el pretest del test TONI-4-----	195
Figura 40. Tiempos de respuesta por grupo y escuela en el pretest del test TONI-4-----	196
Figura 41. Notas promedio por grupo y escuela en el pretest-----	196
Figura 42. Notas promedio de las áreas de conocimiento por grupo y escuela en el pretest--	197
Figura 43. Tiempo de respuesta para los tres grupos en el pretest y posttest del test child ANT-----	201
Figura 44. Tiempos de respuesta para los ensayos de la atención ejecutiva en el pretest y posttest del test child ANT -----	203
Figura 45. Proporción de respuestas correctas por escuelas para los ensayos de la atención ejecutiva en el pretest y posttest del test child ANT -----	204

Figura 46. Tiempos de respuesta para los ensayos de la atención de alerta en el pretest y posttest del test child ANT -----	205
Figura 47. Proporción de respuestas correctas por escuelas para los ensayos de la atención de alerta en el pretest y posttest del test child ANT -----	207
Figura 48. Tiempos de respuesta para los ensayos de la atención de orientación en el pretest y posttest del test child ANT -----	208
Figura 49. Proporción de respuestas correctas por grupos para los ensayos de la atención de orientación en el pretest y posttest del test child ANT -----	208
Figura 50. Tiempos de respuesta para los ensayos del control inhibitorio en el pretest y posttest del test de Stroop corazón-flor -----	210
Figura 51. Proporción de respuestas correctas por escuelas para los ensayos del control inhibitorio en el pretest y posttest del test Stroop corazón-flor-----	211
Figura 52. Tiempos de respuesta por escuelas para los ensayos de la flexibilidad cognitiva en el pretest y posttest del test de Stroop corazón-flor-----	213
Figura 53. Proporción de respuestas correctas por escuelas para los ensayos de la flexibilidad cognitiva en el pretest y posttest del test de Stroop corazón-flor-----	215
Figura 54. <i>Score</i> de los grupos en la Escuela 2 para el pretest y el posttest del test de Corsi -	216
Figura 55. <i>Score</i> de los grupos en la Escuela 1 para el pretest y el posttest del test de Corsi -	217
Figura 56. Tiempos de respuesta en función del <i>span</i> en el posttest del test de Corsi -----	217
Figura 57. Nivel máximo alcanzado por grupo en el pretest y el posttest del test TONI-4 ----	219
Figura 58. Tiempos de respuesta por grupo en la escuela 2 en el pretest y el posttest del test TONI-4 -----	219
Figura 59. Tiempos de respuesta por grupo en la Escuela 1 en el pretest y el posttest del test TONI-4 -----	220
Figura 60. Notas promedio de las áreas de conocimiento por grupo y escuela en el posttest -	221
Figura 61. Notas promedio por grupo y escuela en el pretest y el posttest -----	222
Figura 62. Modelo de la atención en el marco de las funciones ejecutivas (Rueda, 2021)----	231
Figura 63. Recorrido desde la neurociencia hacia el aprendizaje -----	245

Resumen

Esta tesis constituye un acercamiento de la neurociencia a la educación a través de una investigación científica en un contexto real de aula en la etapa de educación infantil.

Iniciamos el recorrido exponiendo brevemente el desarrollo histórico de la neurociencia y la correspondiente emergencia de la neurociencia cognitiva que posibilitó la aparición de la neuroeducación. Contextualizamos este nuevo campo de investigación, aportando evidencias empíricas que tienen muchas implicaciones educativas en la infancia, la etapa que nos interesa estudiar.

Identificamos uno de los pilares básicos de la neuroeducación: las funciones ejecutivas del cerebro. Estas habilidades cognitivas son imprescindibles para el bienestar, el aprendizaje y el buen desempeño cotidiano de las personas. Y, en consonancia con lo que sugieren las investigaciones en neurociencia, pueden entrenarse y mejorarse. Ese fue nuestro objetivo. Utilizamos para ello *Mate Marote*, un *software* lúdico especialmente diseñado para estimular las funciones ejecutivas que está basado en algunos de los principios básicos de la neuroeducación. Realizamos un diseño experimental cuantitativo en el que participaron 83 estudiantes de educación infantil de 4 años de edad, en promedio, de tres escuelas públicas en España. Nos propusimos analizar el impacto de la intervención sobre las tres funciones ejecutivas básicas, control inhibitorio, memoria de trabajo y flexibilidad cognitiva, pero también sobre la atención, el razonamiento fluido y el aprendizaje de las áreas de conocimiento en la etapa de educación infantil. Esto lo hicimos analizando estadísticamente los resultados del pretest y el posttest de pruebas que miden diferentes habilidades cognitivas: el test child ANT (atención ejecutiva, atención de alerta y atención de orientación), el test de Stroop corazón-flor (control inhibitorio y flexibilidad cognitiva), el test de Corsi (memoria de trabajo visuoespacial), el test TONI-4 (razonamiento abstracto) y los informes de evaluación del curso (aprendizaje).

Los estudiantes que conformaron el grupo de control pertenecían a dos clases de una de las escuelas (n=39), mientras que los estudiantes de las otras dos escuelas (n=44) fueron asignados de forma aleatoria a uno de dos grupos experimentales existentes (grupo CI y grupo S). Mientras que los integrantes del grupo CI jugaron a videojuegos que permiten trabajar mayormente el control inhibitorio, los del grupo S jugaron a videojuegos diseñados para trabajar también la memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva. Esto constituye una importante innovación con respecto a las investigaciones realizadas hasta la fecha sobre funciones ejecutivas en la infancia que no suelen analizar el impacto que puede lograrse afectando distintos componentes de la cognición en simultáneo.

La intervención duró 7 semanas. Los participantes jugaron dos o tres veces por semana (según necesidades de cada escuela) durante 15 minutos, como máximo cada vez, por lo general en días no consecutivos.

Los resultados revelaron mejoras concretas de los dos grupos experimentales, respecto al grupo de control, en las funciones ejecutivas básicas. El entrenamiento con el *software* Mate Marote, en general, y de los grupos experimentales S y CI, en particular, tiene un impacto positivo en las habilidades cognitivas evaluadas, aunque lo hacen de forma distinta. El entrenamiento específico del grupo S tuvo un mayor impacto en la atención y el control inhibitorio que el del grupo CI. Ello sugiere que entrenamientos globales que hagan intervenir más funciones ejecutivas pueden ser más beneficiosos que entrenamientos de procesos concretos en la infancia. Las diferencias de rendimiento inicial entre las escuelas abren la puerta a nuevas investigaciones que nos permitan entender las razones por las que mejoran unas habilidades y no otras, y bajo qué condiciones.

Palabras clave: neurociencia, neuroeducación, funciones ejecutivas, entrenamiento cognitivo, Mate Marote, aprendizaje.

Abstract

This thesis is an approach of neuroscience to education through scientific research in a real classroom context in early childhood education.

We begin by briefly outlining the historical development of neuroscience and the corresponding emergence of cognitive neuroscience that made possible the appearance of neuroeducation. We contextualize this new field of research, providing empirical evidence that has many educational implications in childhood, the stage that we are interested in studying.

We identify one of the basic pillars of neuroeducation: the executive functions of the brain. These cognitive skills are essential for people's well-being, learning and good daily performance. And, in line with what neuroscience research suggests, they can be trained and improved. That was our goal. For this we use Mate Marote, a playful software specially designed to stimulate executive functions that is based on some of the basic principles of neuroeducation.

We carried out a quantitative experimental design in which 83 4-year-old kindergarten students, on average, from three public schools in Spain participated. We set out to analyze the impact of the intervention on the three basic executive functions, inhibitory control, working memory and cognitive flexibility, but also on attention, fluid reasoning and learning. We did this by statistically analyzing the pretest and posttest results of tests measuring different cognitive skills: the child ANT test (executive attention, alertness and orientation attention), the Stroop heart-flower test (inhibitory control and cognitive flexibility), the Corsi test (visuospatial working memory), the TONI-4 test (abstract reasoning) and the course evaluation reports (learning).

The students who made up the control group belonged to two classes from one of the schools (n=39), while the students from the other two schools (n=44) were randomly assigned to one of two existing experimental groups (CI group and S group). While those in the CI group played video games that allow working mostly on inhibitory control, those in the S group played video games designed to also work on working memory and cognitive flexibility. This constitutes an important innovation with respect to the research conducted to date on executive functions in childhood, which does not usually analyze the impact that can be achieved by affecting different components of cognition simultaneously.

The intervention lasted 7 weeks. Participants played two or three times a week (depending on the needs of each school) for a maximum of 15 minutes each time, usually on non-consecutive days. The results revealed concrete improvements of the two experimental groups with respect to the control group. The training with the Mate Marote software, in general, and of the experimental groups S and CI, in particular, had a positive impact on the cognitive skills evaluated, although they did so in different ways. The specific training of the S group had a greater impact on attention and inhibitory control than that of the CI group.

This suggests that global training that involves more executive functions may be more beneficial than process-specific training in childhood. The differences in initial performance between schools open the door to new research that will allow us to understand the reasons why some skills improve and not others, and under what conditions.

Key words: neuroscience, neuroeducation, executive functions, cognitive training, Mate Marote, learning.

INTRODUCCIÓN

Introducción

Las aplicaciones de la neurociencia cognitiva a la educación ya no están “demasiado lejos”. Al contrario, hoy se encuentran disponibles muchos métodos de investigación conceptuales y empíricos. Se pueden presentar programas educativos innovadores, y tenemos a nuestro alcance todas las herramientas para estudiar su impacto en los cerebros y las mentes de los niños. El aula debería ser nuestro próximo laboratorio. Stanislas Dehaene (2016)

En los últimos años se ha producido un gran desarrollo de las tecnologías de visualización cerebral no invasivas que han impulsado las investigaciones en el campo de la **neurociencia**. Estas técnicas nos permiten analizar el funcionamiento del cerebro mientras reflexionamos, creamos, calculamos, leemos, jugamos, cooperamos, nos emocionamos..., todas ellas tareas que se realizan con frecuencia en la escuela. ¿Es importante que la **educación** conozca esta información que proviene de la neurociencia? Entendemos que sí. Básicamente, porque el cerebro es el órgano responsable del **aprendizaje** (en cooperación con el resto del organismo) y de generar y gestionar cualquier conducta. Pero esta información aplicada a la educación será más útil cuando se combine con las aportaciones de la psicología o la pedagogía (Sigman *et al.*, 2014), por ejemplo, sin descartar las aportaciones de otras disciplinas como la genética, la sociología, la didáctica, etc. Este enfoque transdisciplinar es lo que constituye la **neuroeducación** (Battro, 2010; Howard-Jones *et al.*, 2016), un campo de estudio que ha despertado en los últimos años un gran interés en España (Bueno, 2017; Forés y Ligoiz, 2009; Guillén, 2017; Mora, 2013), cuyo objetivo es mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje a partir de los conocimientos científicos alrededor del funcionamiento del cerebro. Así, este nuevo paradigma educativo acerca la investigación científica al **aula** –o a cualquier otro contexto educativo– e informa al profesorado –o a cualquier educador– sobre qué intervenciones inciden más positivamente en el aprendizaje y cuáles son las causas por las que lo hacen, en función de cada contexto personal y social. En muchos casos, esta información confirmará las estrategias pedagógicas que utilizamos con nuestro alumnado y, en otros, permitirá optimizarlas. En consonancia con lo que plantea el prestigioso neurocientífico Stanislas Dehaene en su cita, ello requiere un análisis crítico de nuestras prácticas educativas y la necesaria flexibilidad para cambiarlas en el caso de que no funcionen. Asumiendo que la información suministrada por la neurociencia, aportando las correspondientes evidencias empíricas mediante la utilización de la metodología científica, complementa a la pedagogía, no la sustituye.

Neurocientíficos reconocidos como Stanislas Dehaene, Adele Diamond, Sarah-Jayne Blakemore, Daniel Ansari, Paul Howard-Jones y muchos otros coinciden con la gran mayoría de docentes al considerar que el conocimiento sobre el cerebro es muy importante en la planificación educativa.

Sin embargo, es muy común interpretar de forma parcial o inadecuada gran parte de los descubrimientos científicos, lo cual explica el origen de los llamados *neuromitos* (Howard-Jones, 2014a), que están muy arraigados en educación. Todo ello recomienda una interpretación cautelosa de las investigaciones científicas asumiendo, por supuesto, que la **ciencia** es una fuente inagotable de suministro de pruebas que está en continua evolución.

Uno de los descubrimientos más significativos de la neurociencia en los últimos años ha sido demostrar que los procesos emocionales y los cognitivos constituyen un binomio indisoluble, es decir, comparten redes neurales que son imprescindibles para garantizar nuestra supervivencia (Blair, 2002; Storbeck y Clore, 2007). Factores críticos en el aprendizaje y en la educación como la motivación, la atención, la memoria, la toma de decisiones, la creatividad o las relaciones sociales están muy influenciados por las emociones (Immordino-Yang y Damasio, 2007). Existen suficientes evidencias empíricas que demuestran que los circuitos cerebrales que se ocupan conjuntamente de las emociones y de la toma de decisiones suelen participar en la gestión cognitiva y en el comportamiento social (Damasio, 2006). Es decir, un comportamiento adecuado requiere una buena conexión entre la corteza prefrontal, sede de lo más racional, y determinadas estructuras del sistema límbico o emocional, como la amígdala, tal como han confirmado los estudios que utilizan neuroimágenes (LaBar y Cabeza, 2006).

Desde otra perspectiva metodológica, los estudios longitudinales revelan que los estudiantes que participan en programas orientados al aprendizaje socioemocional durante toda su etapa escolar muestran mejoras significativas en las habilidades sociales y emocionales, actitudes más positivas y un mayor compromiso escolar que aquellos que no forman parte de los mismos. Y no solo eso, sino que repiten menos cursos y obtienen mejores resultados académicos (Durlak *et al.*, 2011; Taylor *et al.*, 2017). Las competencias socioemocionales consideradas como importantes en este tipo de programas también pueden trabajarse y mejorarse mediante otros que ponen el énfasis en las **funciones ejecutivas** del cerebro (Diamond *et al.*, 2007; Blair y Raver, 2014): capacidades cognitivas que son imprescindibles para planificar y tomar decisiones adecuadas. Son, como dice Andrea Goldin (2022), los cimientos de la cognición. Estas funciones ejecutivas son críticas para el buen desempeño cotidiano de la persona y pueden llegar a predecirlo en muchas situaciones mejor que el cociente intelectual o el estatus socioeconómico (Diamond y Ling, 2016). Y son especialmente relevantes en el desarrollo de niños¹ que pertenecen a entornos socioeconómicos desfavorecidos (Lawson, Hook y Farah, 2018). En los últimos años, los estudios sobre funciones ejecutivas constituyen un pilar fundamental en el campo de la investigación neuroeducativa aplicada a la **infancia**. Y aquí reside una de las claves de esta tesis.

¹Siempre que en este texto utilice el vocablo “niños” me estaré refiriendo tanto a niñas como niños.

En estos últimos años me he dedicado, especialmente, a la docencia y divulgación de todo lo relacionado con la neuroeducación. Por una parte, desde el 2015, soy docente en el posgrado de neuroeducación del ICE de la Universidad de Barcelona. Años más tarde aparecieron nuevos cursos de especialización en los que también participo. Y, por otra, en el 2011, junto a otros docentes, creamos *Escuela con Cerebro*, un blog pionero sobre neuroeducación en España en el que se vinculaba (y se sigue haciéndolo) la teoría proveniente de las investigaciones científicas con las aplicaciones educativas prácticas. En el libro *Neuroeducación en el aula: de la teoría a la práctica*, del 2017, hice una síntesis y actualización de todo lo que había estudiado en los años anteriores y en esa obra ya identifiqué la importancia de las funciones ejecutivas del cerebro para la educación y para la vida. Sin embargo, más allá de las pequeñas investigaciones realizadas, entendíamos que faltaba un acercamiento de la investigación científica al aula desde una perspectiva neuroeducativa real. Ahí radica la génesis de esta tesis.

Una vez identificado el deseo activo de realizar una investigación y asumir la importancia del estudio de las funciones ejecutivas en el contexto del aula, había que clarificar cómo hacerlo, es decir, el formato de la intervención. Para esta decisión, el punto de inflexión fue el conocimiento de los estudios realizados en contextos educativos reales por Andrea Goldin, Mariano Sigman y otros colaboradores argentinos utilizando un *software* lúdico llamado **Mate Marote** (Nin, Goldin y Carboni, 2019). Estos videojuegos fueron diseñados con el objetivo de evaluar y estimular de forma entretenida las funciones ejecutivas en la infancia. En un estudio muy citado (Goldin *et al.*, 2014) se identificaron los beneficios de esta estrategia. En concreto, se mejoraron facetas de las funciones ejecutivas y los resultados académicos en asignaturas concretas, como en lengua y matemáticas, especialmente en niños de entornos socioeconómicos desfavorecidos. Por mi parte, cuanto más me adentré en estos estudios, mayores fueron los deseos de replicarlos (o adaptarlos) en España. Asumiendo que cada contexto social, cultural, educativo..., es diferente. Afortunadamente, los deseos se hicieron realidad.

En los últimos años el **entrenamiento cognitivo** (generalmente se refiere a la ejercitación de las funciones ejecutivas; Bryck y Fisher, 2012) se ha visto beneficiado por la utilización de los **recursos digitales**. Programas generalmente informatizados que optimizan el aprendizaje ya que integran con naturalidad los elementos que caracterizan al **juego**, otro de los factores neuroeducativos críticos en el desarrollo en la infancia (Rushton, Juola-Rushton y Larkin, 2010), lo que constituye una estrategia prometedora para trabajar las funciones ejecutivas en esa importante etapa de la vida (Zhang *et al.*, 2019). Es esta interacción de factores críticos desde la perspectiva de la neuroeducación lo que hace realmente relevante esta investigación: estudiar la incidencia sobre el aprendizaje en la infancia de un entrenamiento de las funciones ejecutivas, a través del juego, integrado en programas informáticos diseñados e inspirados por conocimientos de la **neurociencia cognitiva**, y hacerlo dentro del aula.

El uso de ordenadores tiene como ventaja la posibilidad de seguir y estudiar el aprendizaje de los niños a medida que juegan, paso a paso, dado que el *software* registra automáticamente sus acciones. Todo de forma muy práctica y sencilla.

Hay palabras clave en la tesis presentada. Por ejemplo, neuroeducación, funciones ejecutivas, y Mate Marote. Y otras que están directamente vinculadas: neurociencia, entrenamiento cognitivo, investigación en el aula, juego y aprendizaje. Todas ellas configuran la esencia de nuestro trabajo. Pero por encima de todo están las niñas y niños participantes. Su aprendizaje, su vida. La infancia es una etapa de la vida de la persona que condiciona el desarrollo humano posterior y en la que es básica una estimulación adecuada (Noble *et al.*, 2015). Todo esto se da en un contexto concreto, por lo que es muy importante la participación activa de toda la comunidad en el proceso de desarrollo y mejora de la educación. Desde el inicio entendimos que era necesario generar el vínculo adecuado con los equipos directivos, maestras, familias, adultos asistentes y, especialmente, con todas las niñas y niños de las escuelas en las que íbamos a desarrollar la investigación.

A continuación, exponemos sucintamente la estructura básica que se encontrará el lector de este trabajo.

Inicialmente, tras este apartado introductorio, se muestran los objetivos de la investigación, identificando los objetivos generales y los correspondientes objetivos específicos. Asimismo, se exponen preguntas que han guiado la investigación y que también han posibilitado la formulación de hipótesis con respecto al diseño experimental propuesto.

El primer bloque corresponde al marco teórico. Una vez planteado el problema de la investigación, se analizan los antecedentes que permiten contextualizar nuestro estudio. Iniciamos el recorrido analizando brevemente el desarrollo histórico de la neurociencia y la correspondiente emergencia de la neurociencia cognitiva que posibilitó la aparición de la neuroeducación. Hemos dado mucha importancia al capítulo específico dedicado a la neuroeducación porque consideramos imprescindible explicar las características básicas del nuevo campo de investigación, uno de los objetivos de esta tesis. Sin ello todo lo demás no tendría sentido. Por eso hemos analizado muchos de sus hallazgos en la infancia, la etapa educativa que nos interesa en esta tesis, sus objetivos, retos, posibilidades y también controversias, por supuesto.

Una vez contextualizada la neuroeducación, nos centramos en uno de sus pilares básicos, las funciones ejecutivas. Y en el entrenamiento cognitivo a través de programas informáticos, la forma específica para trabajarlas que nos interesa porque es la esencia de Mate Marote, el *software* lúdico que utilizamos en la intervención.

El segundo bloque corresponde a todo el proceso desarrollado para obtener la información relevante que nos permita alcanzar los objetivos propuestos. Es un apartado donde se explicita el proceso de decisión y elección de los aspectos correspondientes a la metodología, es decir, qué

tipo de métodos y técnicas se van a utilizar para recoger la información. En nuestro caso, la metodología cuantitativa. En cuanto a las técnicas utilizadas, hemos recurrido a test estandarizados cuyos análisis de datos requieren un tratamiento estadístico específico. Hemos detallado muchos de los conceptos teóricos concretando su aplicación práctica en las necesidades de nuestra intervención para facilitar el acercamiento a la investigación neuroeducativa de cualquier docente interesado en ello o, en general, de cualquier persona interesada por la educación.

En el tercer bloque se presentan los resultados obtenidos mediante las técnicas de análisis utilizadas. Intentamos facilitar la lectura con una variedad de gráficas que seguro ayudarán al lector a captar la esencia de lo obtenido.

En el cuarto bloque, directamente vinculado al anterior, se hace un análisis específico de los resultados, en consonancia con los objetivos e hipótesis planteadas. También se explican las limitaciones de la investigación, las posibles alternativas y los nuevos retos y posibilidades que se abren de cara al futuro cercano. El bloque se acaba con unas conclusiones sobre el trayecto recorrido desde la neurociencia hasta el aprendizaje en el contexto real del aula a través de un enfoque neuroeducativo centrado en el trabajo de las funciones ejecutivas, un pilar fundamental en el intento de mejora de la educación y la sociedad.

Finalmente, no podemos obviar el último apartado con las referencias bibliográficas que dotan de sentido al trabajo presentado. Hemos intentado compartir las más relevantes, de forma que puedan ayudar al lector a profundizar en la gran variedad de cuestiones compartidas. Y para clarificar los conceptos y el recorrido transitado durante la investigación, al final de cada capítulo habrá un bloque de ideas clave en donde, de forma resumida, se compartirán las ideas más representativas de cada una de las fases del proceso.

Tal como analizaremos en el segundo bloque, una de las características fundamentales de la metodología científica es la replicabilidad de las investigaciones. Y queremos que esta investigación sea accesible al mayor número de personas posible. Por lo tanto, hemos creído conveniente explicar de forma detallada todo lo realizado. Por ejemplo, los apartados teóricos que ayudan a entender al lector el proceso seguido, pero, también, por qué no decirlo, al propio autor, ya que forman parte de un proceso de aprendizaje y descubrimiento continuo, no exento de dificultades y de errores, que continúa a día de hoy (afortunadamente). De hecho, tal como mencionamos en el texto, la aparición de la COVID-19 nos impidió finalizar la intervención tal como la habíamos diseñado inicialmente. Ello requirió modificar el diseño experimental, el calendario e, incluso, las escuelas en las que se desarrollaría la investigación. Las nuevas condiciones nos exigieron ser ejemplo de buen funcionamiento ejecutivo ya que tuvimos que adaptarnos a situaciones diferentes a las anteriores. Y lo conseguimos. Espero que esto anime a otras muchas personas a embarcarse en procesos de investigación similares.

Creemos que esta investigación está claramente enmarcada en los objetivos del programa de doctorado *Educación y Sociedad* de la Universitat de Barcelona al favorecer situaciones de aprendizaje que propician cambios educativos que tienen una gran incidencia social ya que, mediante una intervención lúdica, relativamente corta y económica, podemos optimizar procesos cognitivos que predicen el buen desarrollo académico y personal en la infancia. Esto es especialmente importante para aquellos niños de familias con menos recursos económicos (Blair y Razza, 2007), que se pueden beneficiar de este tipo de intervenciones ya que presentan una menor tasa de asistencia escolar. Y es consecuente con la línea de investigación *Sociedad digital y educación: medios y tecnologías*. Porque, desde el enfoque neuroeducativo, entendemos que la educación no tiene que limitarse a lo cognitivo, sino que debe atender las necesidades físicas, sociales y emocionales de todos, niñas y niños (Diamond, 2007). Algunos autores sugieren que este enfoque que asume una educación orientada hacia la formación integral de la persona es el más beneficioso para mejorar las funciones ejecutivas y está en consonancia con el aprendizaje desde, en y para la vida propuesto por Forés y Ligoiz (2009) en una de las obras pioneras sobre neuroeducación en España. Y desde esta perspectiva el juego es una herramienta muy importante.

Es nuestro interés y pasión por la mejora educativa y social lo que nos mueve a plantear la presente investigación que vincula factores críticos del arte de la pedagogía con la ciencia del cerebro a través de una mirada alternativa que nos propone una nueva educación, necesaria y posible.

Objetivos de la investigación

En esta investigación nos planteamos estudiar la incidencia sobre el aprendizaje en una etapa concreta de la infancia (4 años) de Mate Marote, un programa específicamente diseñado para trabajar las funciones ejecutivas del cerebro que está basado en algunos de los principios básicos de la neuroeducación.

Como hemos mencionado, la investigación se centra en la práctica de las funciones ejecutivas a través del juego, uno de los elementos que se consideran básicos en el campo de la neuroeducación. La finalidad u objetivo general que pretende este proyecto lo podríamos formular de la siguiente forma:

Objetivo general

Analizar la incidencia en el desarrollo de las funciones ejecutivas utilizando un software lúdico, como Mate Marote, y el impacto sobre el aprendizaje en el contexto escolar de la etapa de infantil.

De este objetivo general se desprenden los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar el impacto de la intervención sobre cada una de las funciones ejecutivas básicas: control inhibitorio, flexibilidad cognitiva y memoria de trabajo.*
- Evaluar el impacto de un entrenamiento específico que trabaja mayormente el control inhibitorio.*
- Evaluar el impacto de un entrenamiento específico que trabaja también la memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva.*
- Analizar los efectos de la intervención sobre otras habilidades cognitivas, como la atención (atención de alerta, de orientación y ejecutiva) y la inteligencia fluida.*
- Comparar los efectos del entrenamiento según el estatus socioeconómico de los niños.*
- Valorar el impacto del entrenamiento sobre el aprendizaje de los niños (competencias de la etapa de infantil).*
- Identificar elementos críticos del software analizando la forma de jugar de los niños.*
- Contextualizar la neuroeducación, identificando las características básicas de este nuevo campo de investigación.*

En la investigación nos hemos planteado preguntas que guían y dotan de sentido y significado a todo el proceso:

¿Qué efectos produce la intervención en las funciones ejecutivas básicas (control inhibitorio, flexibilidad cognitiva y memoria de trabajo)?

- ¿Qué efectos produce una intervención que trabaja más el control inhibitorio?*
- ¿Qué efectos produce una intervención que trabaja más la memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva?*
- ¿Cómo afecta la intervención a la atención y la inteligencia fluida?*
- ¿Qué efectos tiene el estatus socioeconómico en el desarrollo de las funciones ejecutivas?*
- ¿Cómo afecta el entrenamiento al aprendizaje de los niños?*
- ¿Cuáles son los elementos del software que son más útiles para los niños?*
- ¿Qué es y qué no es la neuroeducación?*

Nuestra principal hipótesis es que:

Una intervención que utiliza el software lúdico Mate Marote aplicada en el contexto escolar con estudiantes de cuarto de infantil² mejora las funciones ejecutivas y favorece el aprendizaje.

De esta hipótesis principal, derivan otras dos:

Una intervención con videojuegos de Mate Marote que trabajan más el control inhibitorio, aplicada en el contexto escolar con estudiantes de cuarto de infantil, mejora las funciones ejecutivas y favorece el aprendizaje.

Una intervención con videojuegos de Mate Marote que trabajan más la memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva, aplicada en el contexto escolar con estudiantes de cuarto de infantil, mejora las funciones ejecutivas y favorece el aprendizaje de forma superior a la intervención centrada en el control inhibitorio.

²Aula de cuatro años del segundo ciclo de educación infantil (3-6 años).

I. MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO 1.

La neurociencia

CAPÍTULO 1. La neurociencia

1.1 Historia de la neurociencia

En la actualidad sabemos que el **cerebro** es una estructura biológica de enorme complejidad que gestiona la actividad del sistema nervioso. Sin embargo, el estudio e interpretación de su funcionalidad ha ido cambiando a lo largo de la historia.

El primer documento escrito en el que aparece nombrado el cerebro corresponde a un papiro egipcio descubierto por Edwin Smith de aproximadamente el año 1600 a.C (Vargas *et al.*, 2012). Los egipcios no consideraban importante el cerebro porque al preparar las momias lo extraían y lo desechaban, aunque sí que conservaban otros órganos internos del difunto para que pudiera volver a nacer en el futuro.

En la Grecia Antigua, Aristóteles (384-322 a.C.) creía que la mente residía en el corazón, mientras que el cerebro solo servía para refrigerar la sangre (Alonso, 2018). Aunque no todos los autores clásicos compartían esta concepción. Por ejemplo, Hipócrates (460-377 a.C.), considerado como el padre de la medicina moderna (Grammaticos y Diamantis, 2008), atribuyó los sentimientos de alegría, el placer, el dolor o el lamento al cerebro e, incluso, llegó a vincular heridas en un lado del cráneo con parálisis en la parte opuesta del cuerpo (Álvarez, 2013). Hoy sabemos que cada hemisferio cerebral recibe señales del lado opuesto del cuerpo.

Varios siglos después, Galeno (130-200 d.C.), aunque no pudo diseccionar cerebros humanos porque se lo prohibía la ley romana, sí que lo hizo con distintos tipos de animales, como gatos, perros, bueyes, etc., prestando especial atención a los nervios y sus conexiones con los músculos. Galeno se atribuyó la idea clásica de que los nervios eran una especie de conductos huecos por donde circulaban los “espíritus animales” del cerebro para poder mover las diferentes partes del cuerpo (Álvarez, 2010). Esta concepción tuvo una enorme influencia y duraría más de 1000 años. De hecho, durante la Edad Media no se produjeron avances científicos relevantes porque se abandonó la experimentación. Aunque en la época medieval, a diferencia del periodo clásico, se tendía a localizar las facultades mentales en ventrículos o cavidades específicas del cerebro. Se creía que todos los nervios de los sentidos confluían en un sentido común ubicado en un ventrículo frontal que era la sede del alma en los humanos (Álvarez, 2013).

La búsqueda del cristianismo de un lugar para el alma culminaría tiempo después con las ideas de Descartes (1596-1650) sobre la glándula pineal, única región cerebral que no está duplicada y que sería el lugar idóneo en el que la mente fuera capaz de influenciar al cuerpo, pero no al revés (Morgado, 2021). Actualmente, la gran mayoría de la comunidad científica no acepta el dualismo

cartesiano, según el cual la mente (alma), que es inmaterial e indestructible, sería una entidad separada del cuerpo, que es material, y asume que la mente es originada por el cerebro.

La llegada del Renacimiento conllevó la vuelta a la experimentación y con ello el resurgimiento de la ciencia. Muy importantes fueron los estudios de Leonardo da Vinci (1452-1519) sobre neuroanatomía, aunque la gran revolución provino de las investigaciones anatómicas en humanos de Andrés Vesalio (1514-1564) estudiando la estructura del cerebro sano y también la del del enfermo, desmontando las ideas aportadas por Galeno en sus disecciones con animales (Alonso, 2018). Y fue en el siglo XVII cuando Swammerdam (1637-1680) realizó unos importantes experimentos con ranas en los que demostró que la contracción de los músculos no incrementaba su volumen por la presencia de espíritus animales, refutando así la hipótesis espiritual. Como demostró posteriormente Galvani (1737-1798), también en experimentos con ranas, era la electricidad generada por los cerebros de los animales la que recorría los nervios y movía los músculos (Cobb, 2002).

Aunque la Ilustración abrió la puerta de la física del cerebro, fue en el siglo XIX cuando nos adentramos más profundamente en el conocimiento del cerebro y más concretamente de la corteza cerebral, sobre la que hoy sabemos que se asientan los procesos cognitivos complejos que nos caracterizan a los humanos (Fuster, 2015). Este siglo vivió un acalorado debate entre los partidarios de que cada función mental se localiza en una región específica de la corteza y los que la veían como un todo homogéneo. En el inicio del siglo XIX surgió la frenología, un sistema creado por Franz Joseph Gall (1758-1828) en el que vinculaba la personalidad con las protuberancias del cráneo. Aunque la idea original de Gall basada en la especialización funcional de las distintas regiones cerebrales era correcta en un principio, tal como demostraron los estudios posteriores de Pierre-Paul Broca (1824-1880) y Carl Wernicke (1848-1905) con pacientes con déficits lingüísticos, su metodología acientífica condujo a tesis erróneas que acabaron con el descrédito de la teoría (Wickens, 2014). Y si Broca y Wernicke demostraron la existencia de zonas específicas de la corteza encargadas del lenguaje, Gustav Fritsch (1838-1927) y Edward Hitzig (1838-1907) realizaron experimentos con perros que les permitieron descubrir la corteza motora que es responsable del movimiento corporal. De forma similar, David Ferrier (1843-1928) identificó la corteza sensorial en experimentos con monos (Sandrone y Zanin, 2014).

Hasta el siglo XIX, los principales avances sobre el funcionamiento del cerebro se limitaban a su estructura macroscópica. Sin embargo, alcanzado el siglo XX, debido al desarrollo de las técnicas de tinción celular por Camilo Golgi (1843-1926), el foco de la investigación se puso en la estructura microscópica del cerebro. Fruto de estos estudios, Ramón y Cajal (1852-1934) demostró que el sistema nervioso está formado por células nerviosas individuales e

independientes y desarrolló dos principios trascendentales sobre la función nerviosa que marcaron el inicio de la neurociencia moderna³. El primero hacía referencia a que las redes neuronales están constituidas por neuronas en contacto. Y el segundo, que los contactos entre neuronas de una red pueden cambiar e incrementarse con el aprendizaje y la adquisición de memoria (Fuster, 2020).

Años más tarde de que Cajal describiera el sistema nervioso, Charles Sherrington (1857-1952) fue desentrañando su funcionamiento. El descubrimiento de Cajal de que las neuronas eran estructuras anatómicas independientes remarcaba la importancia del espacio entre ellas. Sherrington llamó sinapsis al espacio de conexión entre neuronas y supuso que ahí era donde la información se transmitía la información de una a otra, la clave de la actividad cerebral, tal como se confirmó con la aparición del microscopio electrónico (Kandel y Squire, 2000).

Estudios posteriores demostraron la naturaleza química de las transformaciones que se dan en las sinapsis y desvelaron la presencia de los neurotransmisores, moléculas que transmiten información entre las neuronas (López-Muñoz y Alamo, 2009). En la actualidad sabemos que los cambios en las sinapsis de las neuronas (neuroplasticidad) son los responsables de que el cerebro esté remodelándose y adaptándose continuamente a partir de las experiencias que vivimos, y de que podamos aprender durante toda la vida (Pascual-Leone *et al.*, 2005), lo cual tiene muchas implicaciones educativas.

En la tabla 1 resumimos algunas de las aportaciones más relevantes en la apasionante historia de conocimiento del cerebro.

³ Según Fuster (2000), sería el inicio de la neurociencia cognitiva pues toda neurociencia es cognitiva porque los mecanismos moleculares y celulares que intervienen en el procesamiento de la información conllevan los procesos cognitivos.

Tabla 1. Aportaciones fundamentales en la historia de la neurociencia

Autores (época)	Aportaciones históricas
Edwin Smith (1600 a.C.)	Descubrimiento de un papiro egipcio en el que se nombra al cerebro
Hipócrates (460-377 a.C.)	Atribuye emociones al cerebro
Aristóteles (384-322 a.C.)	La mente reside en el corazón
Galeno (130-200 d.C.)	Diseciona cerebros de animales y considera los nervios los conductos por los que circulan los espíritus animales
Descartes (1596-1650)	Dualismo cuerpo-mente. Considera la glándula pineal como la sede del alma
Leonardo da Vinci (1452-1519)	Estudios sobre neuroanatomía
Vesalio (1514-1564)	Estudios con cerebros humanos en los que refuta las ideas de Galeno
Swammerdam (1637-1680)	Experimentos con ranas que refutan la hipótesis espiritual
Galvani (1737-1798)	Experimentos con ranas en los que demuestra que la electricidad mueve los músculos
Franz Joseph Gall (1758-1828)	Creador de la frenología
Pierre-Paul Broca (1824-1880)	Descubridor del área de Broca
Carl Wernicke (1848-1905)	Descubridor del área de Wernicke
Gustav Fritsch (1838-1927) y Edward Hitzig (1838-1907)	Descubren de la corteza motora en experimentos con perros
David Ferrier (1843-1928)	Descubridor de la corteza sensorial en experimentos con monos
Camilo Golgi (1843-1926)	Inventa en 1873 el método de tinción celular
Ramón y Cajal (1852-1934)	Creador de la teoría neuronal
Charles Sherrington (1857-1952)	Halló el primer circuito neuronal y acuñó el término sinapsis
Henry Dale (1875- 1968) y Otto Loewi (1873-1961)	Confirmaron la teoría química de la transmisión sináptica en experimentos en la década de 1920 y principios de la de 1930
Donald Hebb (1804-1985)	En 1949 publicó su teoría sobre las bases sinápticas del aprendizaje

1.2 Nacimiento de la neurociencia cognitiva

Aunque es necesario un enfoque celular para comprender cómo funciona el cerebro, este enfoque es insuficiente. Para entender cómo pensamos, sentimos y actuamos las personas, también se necesita entender cómo la acción integradora del cerebro, a través de sus redes neurales, produce

la cognición (Fuster, 2021). Ese es el objetivo de la **neurociencia cognitiva**, pero solo es posible integrando métodos que provienen de distintas disciplinas, como veremos a continuación.

1.2.1 Del conductismo a la psicología cognitiva

Durante el periodo más influyente del conductismo, en la década de 1950, muchos psicólogos asumieron que la conducta observable era todo lo que existía en la vida mental, lo cual redujo la psicología experimental de la época a un conjunto limitado de problemas que evaluaban la relación entre estímulos físicos concretos y las respuestas observables (Pozo, 1989). Desde la perspectiva conductista, los procesos mentales que no se podían observar se consideraban inaccesibles para el estudio científico. El cerebro era una caja negra cuyo conocimiento no servía para validar las teorías psicológicas.

La **psicología cognitiva** surgió en la década de 1950 para superar las limitaciones del conductismo. En concreto, 1956 sería un año crítico ya que George A. Miller, quien años después acuñaría el nombre de Neurociencia Cognitiva junto a Michael S. Gazzaniga (Ochsner y Kosslyn, 2013) publicó el influyente artículo “The magical number seven, plus-or-minus two”, en el que sostenía que los seres humanos tenemos una capacidad como canal de información (lo que luego se llamaría memoria de trabajo) limitada a siete (más o menos dos) ítems simultáneos.

Los psicólogos cognitivos no se conformaron con describir las respuestas motoras originadas por los estímulos sensoriales, sino que se interesaron por investigar los mecanismos cerebrales que convierten un estímulo sensorial en una imagen, palabra o acción. Para ello adoptaron dos supuestos. El primero de ellos era que en el cerebro existía conocimiento independiente de la experiencia. Y el segundo hacía referencia a que el cerebro es capaz de desarrollar unos mapas cognitivos (representaciones internas del mundo externo) que luego utiliza para generar una imagen con sentido de lo que ocurre en el exterior (Kandel, 2007). Estos mapas cognitivos se combinan con los conocimientos previos para ejecutar una acción. Esta idea de mapa cognitivo fue muy útil para el estudio del comportamiento, pero tenía el problema de que no podía estudiarse de forma directa. Para adentrarnos en la caja negra de la mente se requería la aportación de la **biología**, en concreto de la neurociencia, la disciplina biológica que estudiaba los procesos cerebrales. En la década de 1960 comenzó una colaboración directa entre los psicólogos cognitivos, los conductistas y los especialistas en el cerebro que acabaría siendo muy fructífera.

1.2.2 Emergencia de la neurociencia cognitiva

En plena hegemonía conductista, Donald Hebb (1904-1985) publicó en 1949 su famosa obra *The organization of behavior*. En ella introdujo algunos postulados en los que el sistema nervioso era imprescindible para explicar la conducta, como el referido a las bases sinápticas del aprendizaje, que fueron clave en el desarrollo de una nueva psicología y también para el desarrollo de la

neurociencia moderna. Estos postulados fueron verificados años después gracias al desarrollo de las tecnologías experimentales. Según Sejnowski (1999), Hebb podría considerarse el primer neurocientífico cognitivo al integrar los conocimientos cognitivos, neuroanatómicos, neurofisiológicos y computacionales de la época.

El enfoque integrador de la neurociencia se produjo de forma progresiva en la segunda mitad del siglo XX. En las décadas de 1950 y 1960, se dio una fusión gradual entre distintas disciplinas que utilizaban sus propias metodologías experimentales como la neuroanatomía, la neurofisiología o la neuroquímica. Esto fue importante porque durante gran parte del siglo XX fue difícil la comunicación entre la neurociencia y la biología (Kandel y Squire, 2000). El lenguaje de la neurociencia se basaba más en la neuroanatomía y la electrofisiología, que no en el lenguaje biológico universal de la bioquímica. Y en la década de 1980, la neurociencia se integraría en otras áreas de la biología, como la biología molecular y la genética molecular (Cowan, Harter y Kandel, 2000). Fue precisamente en la década de 1980 cuando se dio la fusión entre la neurociencia, la ciencia de los mecanismos cerebrales, con la psicología cognitiva, la ciencia de los procesos mentales. Esta fusión originó la neurociencia cognitiva, un enfoque coherente y sistemático de la función mental basado en el cerebro que tiene como objetivo comprender desde una nueva perspectiva actividades mentales como la percepción, la memoria, el lenguaje e incluso la consciencia (Escera, 2004).

La neurociencia cognitiva, como disciplina integradora que es (ver tabla 2), surgió como consecuencia de avances experimentales tradicionalmente utilizados en distintas disciplinas. Por ejemplo, las técnicas utilizadas para estudiar la actividad de células aisladas en cerebros de animales en neurología, el análisis de la conducta en pacientes con lesiones cerebrales en psicología experimental, la creación de modelos computacionales de grandes poblaciones de neuronas y la utilización de técnicas de visualización cerebral en las ciencias computacionales (Churchland y Sejnowski, 1988). Como analizaremos luego, este último avance fue crítico en el desarrollo de la neurociencia cognitiva y en la aparición de la **neuroeducación**. Y también conviene mencionar que esta diversidad de estudios puso de manifiesto que funciones mentales complejas, como la memoria o el razonamiento, son posibles debido a un conjunto de procesos subyacentes de localización específica que requieren interacción, es decir, por sí solos no pueden explicar la función. Podemos decir que el funcionamiento del cerebro es holístico y que el código de la memoria y del conocimiento es relacional, es decir, las redes neuronales que nos permiten aprender son asociativas (Fuster, 2021). De forma parecida al funcionamiento global del cerebro, algunos autores han propuesto la necesidad un enfoque global para la mejora de las funciones ejecutivas (Diamond, 2010; Ling y Diamond, 2016), en particular, y, de la educación (Cantor *et al.*, 2021; Darling-Hammond *et al.*, 2020), en general, que no solo tiene en cuenta las necesidades

cognitivas de los estudiantes, sino también sus necesidades emocionales, sociales y físicas (Immordino-Yang *et al.*, 2019).

Tabla 2. Niveles de análisis de la neurociencia cognitiva (Álvarez, 2013)

Nivel de análisis	Descripción
Nivel molecular	Describe las bases moleculares del impulso nervioso implicando al ADN de las neuronas y los neurotransmisores que lo propagan.
Nivel celular	Estudia los distintos tipos de células cerebrales, su forma, desarrollo, funciones, etc.
Nivel sistémico o de redes neuronales	Estudia las agrupaciones de neuronas que constituyen redes de actividad implicadas en estructuras cerebrales específicas que realizan determinadas funciones.
Nivel funcional (conductual)	Estudia cómo trabajan las redes neuronales que originan las conductas complejas del organismo como los sistemas que participan en las conductas motivadas como la sed, el hambre, etc.
Nivel cognitivo	Analiza los mecanismos neurales que hacen posible las funciones mentales superiores como el lenguaje, el razonamiento, la planificación, etc.

Este enfoque multidisciplinar que integra distintos campos de conocimiento parece que es el enfoque más adecuado para estudiar el funcionamiento complejo del cerebro. En la tabla se muestran los distintos niveles de menor a mayor a complejidad.

Tal como mencionamos antes, suele atribuirse el nombre de *neurociencia cognitiva* a los investigadores Michael S. Gazzaniga y George A. Miller a finales de los años 70 y parece que estos autores fueron quienes utilizaron por primera vez el término neurociencia cognitiva, en 1976, para titular un curso que impartieron en el Cornell Medical College sobre las bases biológicas de la condición humana (Gazzaniga, 1984; citado por Escera, 2004). Sin embargo, los años decisivos en la aparición explícita de la neurociencia cognitiva como disciplina con un objeto claro de estudio fueron los últimos años de la década de 1980, con publicaciones importantes. Por ejemplo, en 1988, en su influyente artículo titulado “Localization of cognitive operations in the human brain”, Posner y sus colaboradores revisaron su propio trabajo sobre el procesamiento del lenguaje realizado con tomografía por emisión de positrones (TEP), identificando distintas activaciones de regiones cerebrales ante diferentes aspectos de procesamiento del lenguaje,

demostrando así que las operaciones mentales que constituyen la base del análisis cognitivo están estrictamente localizadas en el cerebro (Posner *et al.*, 1988). Michael Posner realizó estudios pioneros sobre la neurociencia cognitiva de la atención que tienen una gran relevancia en nuestra investigación, e incluso publicó hace unos años, junto a Mary Rothbart, *Educating the human brain*, uno de los primeros libros en los que investigadores prestigiosos vinculaban la neurociencia con la educación.

Al año siguiente, en 1989, se publicó el primer volumen de la revista *Journal of Cognitive Neuroscience*, que iba a convertirse en el órgano de expresión más prestigioso de la disciplina (Escera, 2004).

1.3 La década del cerebro

Los descubrimientos de Cajal posibilitaron el inicio del estudio de circuitos neuronales específicos del cerebro humano, aunque esto solo era posible examinando cerebros obtenidos de autopsias. A través de una autopsia se podía conocer la localización y forma de las diferentes estructuras cerebrales, pero nada sobre su funcionamiento. El gran reto era el desarrollo de técnicas que posibilitaran el análisis del interior del cerebro vivo, no solo de su estructura, sino también de su funcionamiento. Como veremos a continuación, fue en la década de 1990 cuando aparecieron las modernas técnicas de neuroimagen funcional que supondrían una verdadera revolución en la neurociencia cognitiva, pero antes se produjeron avances importantes en el desarrollo de la tecnología asociada al escaneo cerebral. La gran mayoría de estas técnicas surgieron como consecuencia de la **investigación básica** en la física de altas energías. Un ejemplo más en la historia de la ciencia sobre la importancia, no solo de la investigación básica, sino también del **trabajo interdisciplinar** como requisito imprescindible en el avance del conocimiento.

En la década de 1920, Hans Berger (1873-1941) realizó los primeros electroencefalogramas (EEG) en humanos (Millet, 2001). Esta técnica consiste en colocar electrodos sensibles en el cuero cabelludo para registrar las ondas asociadas a la actividad neuronal en la corteza cerebral. El EEG es una técnica sencilla y no invasiva que tiene una buena resolución temporal, es decir, es capaz de registrar cambios en la actividad cerebral del orden de milisegundos. Sin embargo, tiene una mala resolución espacial. Como no puede dar información sobre lo que ocurre en el interior de la corteza cerebral las señales son difíciles de localizar (Baillet, 2017).

Años más tarde, en la década de 1960, David Cohen realizó las primeras medidas con la magnetoencefalografía (MEG), una técnica parecida a la EEG, aunque más precisa (Lopes da Silva, 2013). En lugar de medir la actividad eléctrica de las poblaciones de neuronas, registra las

ondas magnéticas de la actividad neuronal a través de más de doscientos detectores magnéticos colocados alrededor de la cabeza. Al igual que la EEG, la MEG también es una técnica no invasiva con una muy buena resolución temporal, e incluso con mejor resolución espacial, aunque tampoco da información sobre la organización anatómica del cerebro vivo, por lo que su utilidad mejora combinándose con técnicas que aparecieron años más tarde, como la resonancia magnética funcional (Dale y Sereno, 1993).

En el inicio de la década de 1970 se desarrolló una nueva tecnología para diagnóstico con imágenes que se llamó tomografía axial computarizada (TAC), la cual utiliza un equipo de rayos X especial para crear imágenes transversales del cuerpo. Fue el primer método de obtención de imágenes internas del cerebro vivo, tanto de estructuras normales como dañadas (Dillon, 2021). Unos años más tarde apareció la resonancia magnética (RM), una técnica que, a diferencia del TAC, no utiliza radiación ionizante, sino un campo magnético de gran intensidad para producir imágenes tridimensionales del cerebro (Leach, 2004). Tanto el TAC como la RM se utilizaron en medicina para localizar lesiones cerebrales. Sin embargo, en neurociencia se necesitaba una técnica que pudiera desvelar el funcionamiento cerebral.

La primera de estas técnicas aparecidas fue la tomografía por emisión de positrones (TEP) a final de la década de 1970, una técnica que permitía revelar el nivel de actividad de las regiones cerebrales analizadas en un determinado momento midiendo su gasto energético o metabolismo de la glucosa (Placzek *et al.*, 2016). Se inyecta al paciente una solución radiactiva que circula hacia el cerebro. Las regiones más activas acumulan una mayor parte de la radiación, que es registrada por detectores localizados en la cabeza del individuo. El problema es que se trata de una técnica invasiva, por lo que no es adecuado su uso en la infancia (Goswami, 2019).

Sin embargo, a principios de la década de 1990 se desarrolló la resonancia magnética funcional (RMf), una técnica no invasiva que no utiliza radiación (Ogawa *et al.*, 1990). La actividad neuronal requiere una provisión de oxígeno a través de la sangre. Utilizando un imán de gran potencia, el escáner de RMf detecta el oxígeno porque es transportado por la hemoglobina que, debido al hierro que posee, tiene propiedades magnéticas. Se compara la cantidad de hemoglobina oxigenada que llega a las neuronas con la cantidad de hemoglobina desoxigenada que las abandona (Raichle, 2009). Mediante técnicas computarizadas complejas, en la pantalla de un ordenador aparecerán coloreadas las regiones cerebrales activadas según la cantidad de sangre oxigenada que reciben, ubicándolas con una precisión de hasta un milímetro. Aunque la precisión espacial de la RMf es muy buena, no ocurre lo mismo con su resolución temporal ya que las imágenes creadas dependen de cambios en el flujo sanguíneo y pueden tardar algunos segundos en crearse (Bandettini, 2009). Es por ello que, en la práctica, es muy común combinar diferentes

técnicas de escaneo cerebral para optimizar los resultados, junto a las técnicas propias de la psicología experimental (Goswami, 2019).

El descubrimiento de la RMf coincidió en el tiempo con la declaración por parte de George Bush, presidente de Estados Unidos en esos años, de la declaración de la “Década del Cerebro” (Jones y Mendell, 1999), con todo lo que conllevó a nivel de financiación. Esto posibilitaría la realización de una enorme cantidad de investigaciones que revolucionaron la neurociencia cognitiva. Ya era posible analizar en directo el funcionamiento del cerebro mientras pensamos, leemos, calculamos, jugamos..., todas ellas tareas que se realizan con frecuencia en la escuela. Era una cuestión de tiempo que los educadores se acercaran a la ciencia del cerebro.

IDEAS CLAVE

- Más de 2000 años han sido insuficientes para descifrar cómo funciona la parte más desconocida del cuerpo humano: el cerebro. El conocimiento actual es parcial.
- Para entender cómo pensamos, sentimos y actuamos las personas, se necesita entender cómo la acción integradora del cerebro produce la cognición. Ese es el objetivo de la neurociencia cognitiva.
- El enfoque multidisciplinar de la neurociencia cognitiva que integra distintos campos de conocimiento parece que es el enfoque más adecuado para estudiar el funcionamiento complejo del cerebro.
- De forma parecida al funcionamiento holístico del cerebro, un enfoque global que no solo tiene en cuenta las necesidades cognitivas de los estudiantes, sino también las necesidades emocionales, sociales y físicas, parece ser el enfoque más adecuado para la mejora de la educación.
- La aparición de las tecnologías de visualización cerebral posibilitó analizar el funcionamiento del cerebro en vivo realizando tareas que se realizan con frecuencia en la escuela, lo cual fue crítico para el nacimiento de la neuroeducación.

CAPÍTULO 2.

La neuroeducación

Capítulo 2. La neuroeducación

2.1 Contextualización

La **neuroeducación** constituye un campo de investigación en el que confluyen la neurociencia, la psicología y la educación, básicamente, que tiene como objetivo mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje a partir de los conocimientos científicos sobre el funcionamiento y desarrollo del cerebro. Según algunos autores, la neuroeducación es interdisciplinar, en tanto es la intersección de muchas disciplinas relacionadas con la enseñanza y el aprendizaje (Jolles y Jolles, 2021; Thomas, Ansari y Knowland, 2019). Y, según otros autores, el campo es transdisciplinar ya que constituye una nueva integración de diferentes disciplinas en una nueva categoría conceptual y práctica (Della Chiesa, Christoph y Hinton, 2009; Kouzumi, 2004), lo cual conlleva que no exista una primacía de una disciplina sobre la otra (en concreto, la neurociencia sobre la educación). Nosotros nos decantamos por este último enfoque. O, al menos, esa es la aspiración. La perspectiva transdisciplinar pone el énfasis en la apertura, la flexibilidad y el pluralismo disciplinares para trascender los límites tradicionales entre disciplinas y se focaliza en problemas del mundo real como guía del proceso de investigación (Knox, 2016).

Aunque las disciplinas base de esta construcción transdisciplinar son la neurociencia, la pedagogía y la psicología, no podemos obviar la aportación de otras disciplinas que nos permiten analizar los mecanismos cerebrales desde distintos enfoques. Por ejemplo, la genética, ya que el cerebro humano, como cualquier otro órgano del cuerpo, está formado por células cuya estructura y fisiología permiten el funcionamiento específico e integrado de este órgano (Thomas *et al.*, 2015). En la literatura científica suelen utilizarse otros términos como neurociencia educativa o la ciencia de la mente, el cerebro y la educación (MBE son las siglas, en inglés, de *Mind, Brain and Education*) que en este texto se asumirán como sinónimos, tal como hacen otros autores (Battro, Fischer y Léna, 2008; Thomas, Ansari y Knowland, 2019). La neuroeducación formaría parte de un constructo más amplio que se conoce como **ciencias del aprendizaje** (Darling-Hammond *et al.*, 2020; Tokuhama, 2019).

2.1.1 Cambio de paradigma

Aunque la neuroeducación parte de la idea de que los nuevos descubrimientos sobre el aprendizaje que provienen de la neurociencia pueden ser útiles para los docentes en el aula (y, en general, para cualquier educador), no pretende ser reduccionista. No sostiene que las explicaciones desde el nivel neuronal sean las más adecuadas, ni persigue desvincular la educación de su naturaleza social o cultural, por ejemplo. Evidentemente, no educamos cerebros, sino **personas** que se encuentran en un contexto determinado que hay que conocer. Bacigalupe (2020; p. 231) lo resume muy bien: “No es el cerebro el que aprende, sino que el aprendizaje, como comportamiento y

como proceso, ocurre en la interacción entre el individuo y su entorno, entendiendo que el individuo no incluye solo su cerebro sino su cuerpo entero para aprender”. En clave neurocientífica, podemos decir que el cerebro (o el sistema nervioso, en general) produce la cognición con la cooperación necesaria del organismo al que pertenece (Damasio, 2018).

El objetivo es el de contribuir a la comprensión de los mecanismos de aprendizaje desde diferentes perspectivas (la biológica, cognitiva y pedagógica, básicamente) para ayudar a optimizar los resultados. Es más probable que el análisis de un problema en educación a través de un enfoque transdisciplinar produzca una mejor solución que no el análisis que parte de una única disciplina. El enfoque integrador de la neuroeducación incide en que el papel de la neurociencia es aportar nuevos conocimientos y elementos de reflexión que permitan optimizar las estrategias pedagógicas y los recursos didácticos (Bueno, 2019b). Por ejemplo, entender cómo funcionan y para qué sirven las distintas áreas cerebrales nos va a permitir conocer qué busca el cerebro cuando quiere aprender cosas nuevas. O saber cómo maduran las redes neuronales nos va a ayudar a entender por qué no se puede aprender cualquier cosa a cualquier edad. Pero hay que asumir, por una parte, que en ciencia no existen dogmas y que la neurociencia es una disciplina en crecimiento constante que va aportando nuevos conocimientos a los ya existentes y que los va refinando. Y, por otra parte, que la neuroeducación es una disciplina emergente, en pleno desarrollo, que no puede suplir el imprescindible papel de la pedagogía y la didáctica, sino que las complementa (Ansari, De Smedt y Grabner, 2012).

Podemos considerar la neuroeducación como un nuevo paradigma educativo ya que está fundamentada en las evidencias empíricas contrastadas sobre el desarrollo del cerebro y la conducta humana que tienen que estar basadas, por supuesto, en el **método científico**. De esta forma se acerca la ciencia al aula (o a cualquier otro contexto educativo) para que los docentes (o educadores) conozcamos cuáles son las prácticas educativas que optimizan el aprendizaje y las razones por las que lo hacen, en función de cada contexto personal y social (Guillén, 2017; Mora, 2013).

Ello requiere, tal como ocurre en la metodología científica, un análisis crítico sobre lo que hacemos y la necesaria flexibilidad que posibilite cambiar nuestras prácticas educativas en el caso que no tengan un impacto positivo sobre el aprendizaje. Relacionado con esto, algunos autores hacen la analogía entre lo que la neurociencia podría contribuir a la educación en un futuro cercano y lo que la ciencia aportó históricamente a la medicina (Thomas, 2013). Durante muchos siglos, los médicos afrontaron las enfermedades de los pacientes con tratamientos muy utilizados en épocas pasadas o por consejos de especialistas que habían obtenido buenos resultados con ellos. Era una práctica basada en el ensayo y error en la que se desconocía por qué algunos tratamientos funcionaban con unas personas y no con otras. Sin embargo, todo cambió con el

descubrimiento de la penicilina en 1928 por parte de Alexander Fleming. Aunque se tardó más de una década en comercializarse de forma generalizada, su producción suministró el primer medicamento para combatir muchas enfermedades provocadas por bacterias que se consideraban incurables. Este descubrimiento abrió el camino para que la medicina se convirtiera en una verdadera ciencia, es decir, en una disciplina basada en la **evidencia**. Algo similar ha ocurrido en la educación. Se ha enseñado durante siglos desconociendo casi por completo el funcionamiento del cerebro, el órgano responsable del aprendizaje, dado que las investigaciones eran escasas. Sin embargo, todo cambió en la ya mencionada década del cerebro.

El acercamiento de la ciencia, en general, y la neurociencia, en particular, a la educación y la sociedad debe ayudarnos a entender mejor al ser humano. Y en la educación y en la vida lo más importante son las personas.

2.1.2 Algunos antecedentes importantes

La inclusión del cerebro en la educación no es una idea novedosa. Ya en 1926, Edward Thorndike, considerado el primer psicólogo educativo (Mayer, 2003), dedicó gran parte del primer volumen de una serie de tres que escribió sobre psicología educativa a explicar los conocimientos sobre neurociencia que se tenían en aquella época. Por ejemplo, se mencionaba la importancia del fortalecimiento y debilitamiento de las sinapsis en el proceso de aprendizaje (Thorndike, 1926; citado por Mayer, 2017). De hecho, desde la psicología educativa siempre se ha intentado encontrar vínculos entre la neurociencia y las ciencias del aprendizaje. Por ejemplo, en Wittrock (1980) se menciona la necesidad de vincular la psicología educativa con la neurociencia y la ciencia cognitiva para la mejora de las estrategias de enseñanza y aprendizaje y la atención a las necesidades individuales.

En el contexto académico, se cree que el término neuroeducación surgió en la tesis escrita por James Lee O' Dell de la Universidad de Kansas. En ella se menciona "El cerebro humano se ha convertido en la frontera más desafiante de la ciencia ... Los psicólogos y los neurofisiólogos ya no son las únicas personas que buscan comprender el cerebro y sus potencialidades ... " (O' Dell, 1981, p. 6; citado por Tokuhamas-Espinosa, 2008).

En los años 80 del siglo pasado, Gerhard Preiss, especialista en la didáctica de las matemáticas en la Universidad de Friburgo, propuso una pedagogía basada en la neurociencia que llamó neurodidáctica (Preiss, 1996). La idea clave era la íntima relación existente entre la plasticidad del cerebro y la capacidad de aprendizaje y que los procesos cognitivos están directamente vinculados al ritmo de maduración del cerebro del niño. Los estudios provenientes de la neurociencia podían analizar estas cuestiones y ello permitiría optimizar los procesos de enseñanza y aprendizaje en la educación.

En esos años también se planteó la figura del **neuroeducador**. Según Cruickshank (1981) sería un maestro especial que atendería las necesidades de estudiantes con discapacidades en el contexto escolar. Mientras que Fuller y Glendening (1985) consideraron el desarrollo de un nuevo profesional con una formación interdisciplinar que fuera capaz de entender los elementos básicos, tanto del buen funcionamiento cerebral, como de la buena enseñanza. El neuroeducador trabajaría de forma directa con el docente en el aula para ayudarle a optimizar el aprendizaje de cada estudiante atendiendo a sus necesidades específicas, fueran las que fueran. Curiosamente, casi cuarenta años más tarde, Mora (2022) propone la necesidad de una figura semejante. Según este autor, el neuroeducador debería ser un profesional central en el colegio con las funciones básicas de orientar a las familias hacia los profesionales especializados para la solución de los posibles problemas que cada estudiante pueda presentar en la clase (no solo déficits), detectar y eliminar mitos acerca de los contenidos de la instrucción y la educación que se ofrece o se enseña en el colegio y colaborar en la investigación de nuevas estrategias educativas nacidas a la luz de la neurociencia conducentes a una innovación en la enseñanza en el colegio. Todo lo comentado por Mora está en consonancia con lo que analizaremos en los apartados posteriores.

En 1983 se publicaron los influyentes libros *Human brain and human learning*, en el que Leslie Hart argumenta que enseñar sin tener en cuenta cómo aprende el cerebro es como diseñar un guante sin saber cómo se mueve una mano, y *Frames of mind: The theory of multiples intelligences*, en el que Howard Gardner postula la existencia de varias inteligencias basándose, principalmente, en estudios de personas con daños cerebrales.

Años más tarde aparecieron varias publicaciones haciendo referencia al *aprendizaje basado en el cerebro* en las que se pretendía vincular la neurociencia con la educación. Estas publicaciones fueron acompañadas por libros divulgativos escritos por educadores que tuvieron gran impacto mediático, especialmente en Estados Unidos. Algunos ejemplos conocidos son *Making connections: Teaching and the human brain* (1994) de Renate Nummela-Caine y Geoffrey Caine, *A celebration of neurons: An educators guide to the human brain* (1995) de Robert Silvester, *Teaching with the brain in mind* (1998) de Eric Jensen y *How the brain learns* (2000) de David Sousa.

En plena *Década del Cerebro* se crearon grupos de investigación importantes que intentaron vincular la neurociencia y la educación y fomentar el encuentro entre investigadores y educadores. Por ejemplo, en 1994 se creó el Special Interest Group on Brain, Neuroscience, and Education (SIG-BNE) de la American Educational Research Association (AERA). Y en 1997 se organizó la primera Learning and the Brain Conference, organizada por la Universidad de Harvard y el MIT. Estos encuentros conllevarían la creación de cursos universitarios sobre neuroeducación y la aparición de publicaciones novedosas que contextualizaban la nueva disciplina.

En el año 2000, Howard Gardner y Kurt Fischer crearon el primer curso universitario sobre MBE inaugurado en la Escuela de Educación de Harvard. Ese mismo año, la National Academy of Sciences (en los Estados Unidos) publicó *How people learn: Brain, mind, experience, and school* y, en el 2002, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD, por sus siglas en inglés) publicó el informe *Understanding the brain: Towards a new learning science* que años más tarde complementaría con la publicación *Understanding the brain: The birth of a learning science* (2007).

En el año 2004 Kurt Fischer creó IMBES (International Mind, Brain and Education Society), la primera organización específica sobre neuroeducación que, en el 2007, publicaría la revista referente en el campo Mind, Brain and Education. Asimismo, en distintos países fueron apareciendo centros de investigación adscritos a importantes universidades. En el Reino Unido, la Universidad de Cambridge abrió el Centre of Education and Neuroscience, adscrito a la facultad de educación, en el 2005.

Este interés creciente por la neuroeducación favoreció la aparición de libros de divulgación escritos por destacados neurocientíficos. Por ejemplo, *The learning brain: Lessons for education* (2005) de Sarah-Jayne Blakemore y Utah Frith o *Educating the human brain* (2007), escrito por Michael Posner y Mary Rothbart. También fueron muy influyentes los libros *Based strategies to ignite student learning: insights from a neurologist and classroom teacher* (2006) de Judy Willis y *Mind, brain, and education science. A comprehensive guide to the new brain-based teaching* (2011), de Tracey Tokuhama-Espinosa, un manual recopilatorio basado en su tesis doctoral del 2008 que contextualizaba muy bien la neuroeducación.

La emergencia de la nueva disciplina en España fue algo tardía respecto a otros países, incluso de Latinoamérica. De hecho, en el 2010 se celebró el Primer Congreso Mundial de Neuroeducación en Lima, organizado por las asociaciones latinoamericanas Cerebrum y ASEDH.

A diferencia de los libros de divulgación escritos en inglés, los libros sobre neuroeducación que han ido publicándose en España han dado mayor importancia al impacto de los factores emocionales en el aprendizaje, en particular, y a la influencia de un aprendizaje global que va más allá de lo cognitivo e incide directamente en el desempeño cotidiano, en general (un aprendizaje desde, en y para la vida, según Forés y Ligoiz, 2009). Ambas cuestiones han sido ampliamente investigadas en neurociencia, tal como analizaremos en el siguiente apartado. A continuación, mencionamos algunos comentarios extraídos de las obras más referenciadas de autores españoles que están en plena consonancia con el enfoque asumido durante toda nuestra investigación:

Anna Forés y Marta Ligoiz en *Descubrir la neurodidáctica: aprender desde, en y para la vida* (2009; p. 160): “No podremos ser efectivos en el aprendizaje sino somos afectivos”.

Tomás Ortiz en *Neurociencia y educación* (2009; p. 211): “El aprendizaje, el pensamiento, la creatividad y la inteligencia no son procesos propios de la mente, sino de todo el cuerpo”.

Francisco Mora en *Neuroeducación. Solo se puede aprender aquello que se ama* (2013; p. 73): “La curiosidad, lo que es diferente y sobresale en el entorno, enciende la emoción. Y con ella, con la emoción, se abren las ventanas de la atención, foco necesario para la creación del conocimiento”.

Anna Forés y Carme Trinidad en *Neuromitos en educación. El aprendizaje desde la neurociencia* (2015; p. 105): “La escuela debería seducir, enamorar. Ser ese escenario donde todos los días los alumnos al salir explicasen en sus casas y entornos qué han aprendido, cómo y para qué, con entusiasmo, y al día siguiente al llegar a la escuela también contar qué han aprendido, cómo y para qué con sus amigos, con sus tutores, con su familia. Y generar mariposas en el estómago”.

Jesús C. Guillén en *Neuroeducación en el aula: De la teoría a la práctica* (2017; p.19): “Lo que realmente queremos es educar buenas personas y lograr que sean capaces de cambiar y mejorar la realidad cotidiana en la que se desenvuelven”.

David Bueno en *Neurociencia aplicada a la educación* (2019b; p. 160): “A pesar de la importancia del desarrollo de las capacidades académicas para los aprendizajes posteriores, las actividades que más acentúan la plasticidad neural y que en consecuencia contribuyen de manera muy importante a la adquisición de estas destrezas son la música, el arte y la psicomotricidad”.

Aunque hace años que existen en España cursos de especialización de neurociencia o neuropsicología, fue en el año 2014 cuando se creó el primer máster de neurodidáctica, vinculado a CADE (Centro de Atención a la Diversidad Educativa). Y un año más tarde, en el curso académico 2015-2016, inició su andadura el posgrado pionero de neuroeducación adscrito a la Universitat de Barcelona, *Neuroeducación: Aprender con todo nuestro potencial*, en modalidad semipresencial. En el 2018 se celebró en Barcelona el I Congreso Internacional de Neuroeducación y un año más tarde se creó la Cátedra de Neuroeducación UB-EDUIST, la primera cátedra en todo el mundo cuyo objetivo exclusivo es formar, divulgar y potenciar a nivel de profesionales de la educación y de la sociedad en general los conocimientos y buenas prácticas en neuroeducación. En el contexto de la cátedra empezó a publicarse el *Journal of Neuroeducation*. Con esta iniciativa se pretenden crear puentes entre las comunidades educativa y científica en el ámbito de la neuroeducación y acercar a la sociedad, en general, los hallazgos y experiencias que contribuyen al desarrollo de esta área de conocimiento.

En la introducción del libro *Educational Neuroscience*, los autores identifican cuatro ideas que constituyen una buena síntesis de este apartado (Mareschal, Butterworth y Tolimie, 2013). El tercer punto se analizará de forma más específica en el apartado 2.3.3:

1. El objetivo de la neuroeducación es acercar tres disciplinas diferentes como son la neurociencia, la psicología y la educación para intentar optimizar los procesos de enseñanza y aprendizaje (*el qué*).
2. Aunque en la actualidad vamos mejorando el conocimiento sobre el aprendizaje a nivel cerebral, existen pocas investigaciones que trasladen esta información a la educación. Se necesitan especialistas (neuroeducadores) que sean capaces de crear estos vínculos (*el por qué*).
3. Esta conexión entre disciplinas y su correspondiente traslación de conocimiento solo será posible estableciendo una colaboración estrecha entre investigadores científicos y educadores que sean capaces de integrar los conocimientos que provienen de diferentes disciplinas que utilizan metodologías y lenguajes de expresión distintos (*el cómo*).
4. La unión entre neurociencia, psicología y educación puede ayudarnos a diseñar mejores entornos de aprendizaje durante cualquier etapa educativa y, de esta forma, que cada persona pueda aprender con todo su potencial atendiendo a las necesidades educativas propias (*el para qué*).

2.2 Hallazgos de la neuroeducación

La gran mayoría de descubrimientos sobre el cerebro realizados en los años noventa del siglo pasado no tuvieron un gran impacto en la enseñanza y el aprendizaje porque se centraron en las lesiones cerebrales, las patologías y los problemas. Sin embargo, en los últimos años disponemos de estudios con el respaldo de la evidencia empírica que pueden tener una repercusión directa en el aprendizaje. En consonancia con los objetivos compartidos en el apartado inicial de esta tesis, nos centramos en la infancia. Hemos identificado algunas de las cuestiones que creemos que son más relevantes en el contexto del aula y, como veremos a continuación, guardan una relación directa con las dimensiones evaluadas en nuestra investigación (atención, funciones ejecutivas básicas, razonamiento fluido y aprendizaje en las áreas de conocimiento de educación infantil) y con las estrategias utilizadas para realizar la intervención (integración del componente lúdico, vínculo con el alumnado, las maestras y las familias, adecuación de las dinámicas a la edad de las niñas y niños, utilización de espacios y materiales apropiados, promoción de proyectos vinculados a la mejora de la salud cerebral, etc.).

2.2.1 El desarrollo del cerebro

Nuestro cerebro es muy plástico y está reorganizándose continuamente debido a las experiencias vitales (Pascual-Leone *et al.*, 2005), tanto a nivel funcional (cambios en las neuronas y entre sus

conexiones), como estructural (modificación de las áreas cerebrales). Esa plasticidad cerebral es la que nos permite aprender a lo largo de toda la vida, aunque existen etapas de mayor sensibilidad, como en la infancia temprana y en la adolescencia.

Dependiendo de la etapa de la vida en la que nos encontremos, los programas genéticos que intervienen en la construcción cerebral favorecen un tipo de conexiones neuronales u otras, permitiendo que el cerebro vaya madurando de la forma más adecuada posible. Ello condiciona los tipos de aprendizaje y cómo van a ser adquiridos en cada etapa (Bueno, 2019a). Por consiguiente, los ritmos madurativos del cerebro deberían marcar los ritmos educativos y el aprendizaje de habilidades, actitudes y conceptos ya que solo se puede aprender de manera eficiente y útil aquello que requiera capacidades mentales para las cuales el cerebro ya haya madurado o iniciado su maduración.

Aunque es cierto que nuestro cerebro atraviesa periodos específicos en los que se puede optimizar la adquisición de capacidades, en neurociencia se prefiere hablar de *periodos sensibles* (en lugar de *periodos críticos*), término con que se incide en las posibilidades que nos ofrece nuestro cerebro plástico para mejorar determinadas funciones que no se han adquirido de forma adecuada en etapas concretas (Thomas y Johnson, 2008). Las mayores evidencias de la existencia de estas ventanas temporales en el desarrollo humano se encuentran en la adquisición de capacidades sensoriales y motoras, como es el caso de la vista o del lenguaje, pero no hay pruebas de que haya periodos sensibles para las capacidades académicas como, por ejemplo, el aprendizaje de las matemáticas o el de la lectura (Thomas y Knowland, 2009). En lo referente al aprendizaje, el *qué* y *cómo* deben prevalecer sobre el *cuándo*. Más allá de la existencia de los periodos sensibles, nuestro cerebro nos permite aprender en todas las edades.

Durante el primer año de vida se da una gran reorganización neuronal caracterizada por un espectacular incremento de las sinapsis (sinaptogénesis), aunque este proceso no se da de la misma forma en las distintas regiones cerebrales (Tierney y Nelson, 2009). El proceso de formación de conexiones neuronales en la etapa postnatal va seguido de un periodo de poda sináptica que permite mantener las sinapsis que se utilizan y desechar las que no, lo cual mejora la eficiencia neuronal (Lenroot y Giedd, 2006). La poda neuronal está programada genéticamente, pero se ve influenciada por el ambiente. Y también sigue una secuencia temporal distinta en cada región cerebral (Paolicelli *et al.*, 2011).

Muchos programas destinados a la infancia temprana asocian el gran incremento de conexiones neuronales que se dan en los tres primeros años con la necesidad de desarrollar al máximo las capacidades intelectuales de los niños estimulándolos con todo tipo de recursos (Hirsh-Pasek, Golinkoff y Eyer, 2004). Sin embargo, no existen evidencias empíricas que demuestren que una mayor estimulación del cerebro del niño pueda mejorar las capacidades cognitivas años más tarde; al contrario, puede provocar un estrés perjudicial en ciertas regiones del cerebro, como la corteza

frontal, que están en pleno desarrollo. Lo que sabemos es lo contrario, es decir, los déficits afectivos, sociales o sensoriales perjudican el desarrollo cerebral de los niños (Noble *et al.*, 2015). Las evidencias demuestran que el neurodesarrollo óptimo en la infancia temprana requiere un entorno con una estimulación normal, rica en lo sensorial, motriz, social y, especialmente, segura y cálida en lo emocional (Immordino-Yang, Darling-Hammond y Krone 2019).

Se han identificado tres habilidades sociales básicas imprescindibles en la educación inicial: la imitación, la comprensión empática y la atención compartida (Meltzoff *et al.*, 2009). La imitación permite al niño aprender las acciones de los demás y su intencionalidad, y se sustenta en las llamadas neuronas espejo, un tipo de neuronas que se activan tanto al realizar una acción como al observar a otra persona realizar esa misma acción (Rizzolatti y Craighero, 2004). Este tipo de interacciones demuestran la importancia en la infancia del juego y de la psicomotricidad libre en la que ensayan roles y modelos proporcionados por los demás y se comparten con ellos (Dore, Smith y Lillard, 2015). Asimismo, nuestro ejemplo como adultos es muy importante porque en los tres primeros años de vida se da una maduración de las estructuras subcorticales del cerebro (Haartsen, Jones y Johnson 2016), más involucradas en el aprendizaje inconsciente (memoria implícita) que está asociado a la repetición y los hábitos y que permitirá la automatización de los patrones de conducta (Censor, Sagi y Cohen, 2012).

Si en los tres primeros años se favorecen las conexiones de corta distancia, en los años posteriores se favorecerán las conexiones de media distancia (Giedd *et al.*, 2015), especialmente entre la corteza (incluidas las áreas de asociación y el lóbulo frontal) y áreas del sistema límbico (como la amígdala, el tálamo y el hipocampo) que está implicado en los comportamientos más instintivos, como las emociones, la alimentación o los impulsos sexuales, y cuya actividad es básica en la motivación, el procesamiento emocional, la memoria y el aprendizaje. Todo ello tendrá un gran impacto en el desarrollo de las habilidades personales y académicas.

Especialmente importantes son las conexiones de la corteza cerebral con la amígdala y el hipocampo (Gabard-Durnam *et al.*, 2014). El hecho de que la corteza empiece a conectarse de forma expresa con la amígdala permite que, de forma progresiva, las niñas y niños vayan adquiriendo un cierto control sobre la gestión emocional. Junto a esto, la capacidad que nos permite diferenciar los estados mentales de uno mismo respecto a los de los demás (*teoría de la mente*), aparece en torno a los 4 años. Cuando se ha desarrollado podemos atribuir ideas, deseos y creencias de forma automática, casi inconsciente, al resto de personas con las que interactuamos. La *teoría de la mente* implica diversas áreas del cerebro, como la corteza prefrontal, que participan en el desarrollo de la empatía. Los estudios con neuroimágenes confirman que los pensamientos sobre nosotros mismos (**metacognición**) y sobre los demás (*teoría de la mente*) comparten correlatos neurales (Vaccaro y Fleming, 2018), lo cual tiene muchas implicaciones educativas.

Entre los 3 y los 6 años se da una gran mejora en el dominio lingüístico, especialmente en lo referente al vocabulario utilizado (Booth, 2009). También se inicia el aprendizaje de la lectoescritura y el desarrollo de procesos de razonamiento lógico-matemáticos. El desarrollo del dominio lingüístico y del pensamiento formal facilitarán la comprensión progresiva del entorno, pasando de lo concreto a lo abstracto, y no al revés, algo que no siempre se tiene en cuenta en la escuela (Dehaene, 2016).

2.2.2 De la emoción a la cognición

Como todo buen docente sabe, existe un vínculo directo entre emoción, atención, memoria y aprendizaje que la neurociencia ha investigado en los últimos años.

2.2.2.1 Emociones

Las emociones son reacciones inconscientes que provocan cambios fisiológicos en el cuerpo gracias a los cuales podemos detectar las alteraciones que se producen en nuestro entorno y responder de forma rápida y automática ante ellas. Nos dan información básica acerca del mundo y preparan el terreno para nuestras acciones y decisiones (Damasio, 2006; Kandel, 2019). Tal como comentamos en la introducción, factores críticos en el aprendizaje y en la educación como la motivación, la atención, la memoria, la toma de decisiones, la creatividad o las relaciones sociales están muy influenciados por las emociones (Immordino-Yang y Damasio, 2007), las cuales pueden inducirse por estímulos externos, pero también por estímulos internos (como pensamientos o recuerdos). Los procesos emocionales y los cognitivos comparten redes neurales por lo que el equilibrio adecuado entre emoción y razón parece ser la clave de un aprendizaje exitoso. Competencias emocionales básicas como la autoconciencia o la regulación emocional pueden comenzar a trabajarse desde la infancia temprana (Immordino-Yang, 2015).

Los estudios con neuroimágenes han confirmado que un estado de ánimo positivo es esencial para que se dé un buen aprendizaje. Ante contextos emocionales distintos, se activan regiones del cerebro diferentes: la amígdala en los contextos negativos y regiones vinculadas al hipocampo ante las situaciones emocionales positivas. La amígdala desempeña un papel fundamental ante sucesos amenazantes o en respuestas como el miedo o la ansiedad; y el hipocampo es imprescindible en los procesos de memoria y aprendizaje (LaBar y Cabeza, 2006). Asimismo, en este tipo de estudios se ha comprobado que los participantes son capaces de recordar mejor la información ante contextos emocionales positivos (Erk *et al.*, 2003). Y un estudio reciente ha demostrado que las emociones positivas (suscitadas al ver imágenes agradables, por ejemplo), activan regiones del cerebro vinculadas a la motivación y estimulan la flexibilidad cognitiva (Kurohara y Ogawa, 2022).

Los metaanálisis confirman este vínculo directo entre los factores emocionales y los cognitivos. Los estudiantes que participan en programas orientados al aprendizaje socioemocional, desde la etapa de educación infantil, mejoran las habilidades sociales y emocionales, pero también su rendimiento académico general (Durlak *et al.*, 2011; Taylor *et al.*, 2017). Muchos de estos programas utilizan dinámicas para combatir el estrés inadecuado. Un cierto nivel de estrés es necesario, e incluso beneficioso, porque activa circuitos cerebrales asociados a la atención o la memoria y evitan el aburrimiento (Vogel y Schwabe, 2016). Esto se puede conseguir, por ejemplo, a través de la sorpresa (Ramirez Butavand *et al.* 2020). Pero para que el aprendizaje sea óptimo, el nivel de estrés no puede ser excesivo, porque ello puede provocar ansiedad o agotamiento. Los niveles de estrés muy intensos o prolongados se traducen en elevados niveles de la hormona catabólica cortisol, lo cual perjudica a la memoria, dado que el hipocampo cuenta con muchos receptores de esta hormona. Y también se han encontrado otros efectos nocivos en la corteza prefrontal o en la amígdala (Sapolsky, 2015) que tienen un mayor impacto en la infancia temprana.

Los estudios de John Hattie en los que se han clasificado los factores de mayor impacto para el rendimiento académico de los estudiantes, tras revisar 1200 metaanálisis, han identificado la importancia de factores emocionales en el aprendizaje vinculados a las expectativas del docente sobre el desempeño del estudiante o las creencias del estudiante sobre su propia capacidad (Hattie, 2008, 2011 y 2015).

2.2.2.2 Atención

En lo referente a la atención, los estudios con neuroimágenes han confirmado la existencia de tres redes cerebrales que, aunque están interconectadas, activan regiones concretas e inciden en aspectos diferentes de la atención, por lo que no podemos hablar de una función unitaria (Petersen y Posner, 2012). Estas redes atencionales se encargan de las funciones de alerta, orientación y control ejecutivo (atención ejecutiva), y están asociadas a neurotransmisores que actúan en distintas regiones cerebrales y también a los genes que determinan, al menos parcialmente, los niveles de dichos neurotransmisores en el cerebro, lo que indica que, a pesar de que la atención puede mejorarse como resultado del aprendizaje, subyace un componente genético importante. Desde la perspectiva educativa, la atención ejecutiva es la más importante porque permite al estudiante focalizar la atención de forma voluntaria inhibiendo estímulos irrelevantes, por lo que está directamente vinculada a las funciones ejecutivas del cerebro (ver apartado 3.2).

Los estudios basados en el entrenamiento cognitivo en los que se practican de forma continuada tareas específicas a través de videojuegos o programas informáticos diseñados específicamente para la mejora de un dominio cognitivo específico (en la literatura se conoce como **entrenamiento basado en procesos**), han reportado beneficios en la atención ejecutiva en la

infancia (Rueda, 2005; Rueda, Checa y Cómbita, 2012). Y cuando en este tipo de intervenciones las niñas y niños de 5 años participantes recibieron un andamiaje metacognitivo por parte del adulto acompañante, se optimizaron los beneficios (Pozuelos *et al.*, 2019).

Junto a este tipo de entrenamiento, también se ha comprobado que la práctica regular del *mindfulness* (Dunning *et al.*, 2019) y del ejercicio físico (Powell *et al.*, 2018) modifica circuitos neurales que intervienen en la atención y permiten mejorarla en la infancia. De estas prácticas se pueden beneficiar todos los estudiantes, especialmente aquellos con déficits atencionales y que son más jóvenes, sobre todo cuando se adapta el entrenamiento a las necesidades particulares (Peng y Miller, 2016).

2.2.2.3 Memoria

Igualmente se han dado grandes avances en la comprensión de la memoria, un proceso que está directamente relacionado con el aprendizaje, porque, en esencia, el aprendizaje es el proceso por el cual adquirimos información sobre sucesos externos, y la memoria, el mecanismo de retención por el cual la almacenamos y podemos recuperarla cuando la necesitamos (Morgado, 2014).

De forma parecida a lo mencionado anteriormente sobre los diferentes tipos de atención, también se han identificado distintos tipos de memoria que activan diferentes regiones cerebrales (Squire, 2004). Por un lado, existe una memoria implícita en la que intervienen regiones subcorticales del cerebro (como la amígdala, el cerebelo o el estriado) que está asociada a los hábitos cognitivos y motores y no precisa de atención consciente. Por otro lado, disponemos de una memoria explícita, más flexible que la anterior, que origina recuerdos conscientes sobre nuestro conocimiento del mundo y experiencias personales, en la que intervienen otras regiones cerebrales. Por ejemplo, la corteza prefrontal, a corto plazo, y el hipocampo en el proceso de consolidación. Esta memoria explícita requiere un enfoque más asociativo en el que la reflexión, la comparación y el análisis adquieren gran protagonismo. Seguramente la falta de desarrollo del hipocampo pueda explicar que no recordemos sucesos autobiográficos en los dos o tres primeros años de vida (Preston y Eichenbaum, 2013). Salvo que exista un impacto emocional (positivo o negativo) asociado al suceso que ayuda a recordar mejor la información.

En el aula nos interesa que los estudiantes utilicen de forma adecuada y eficiente los distintos tipos de memoria. Relacionado con esto, se han identificado algunas técnicas de estudio y aprendizaje que tienen una incidencia directa en la mejora del aprendizaje y que no siempre están en consonancia con lo que hacemos tanto docentes como estudiantes (Dunlosky *et al.*, 2013). Las dos técnicas que tienen el mayor respaldo de la evidencia empírica son la práctica de recuperación (Adesope, Trevisan y Sundararajan, 2017) y la práctica espaciada (Carpenter *et al.*, 2012).

Cuando intentamos recuperar de la memoria conceptos, hechos, destrezas..., estamos poniendo en práctica una estrategia de aprendizaje muy potente: la práctica de recuperación. El proceso de

recordar en sí mismo realza el aprendizaje profundo de forma mucho más significativa que leer de forma repetitiva los apuntes o los textos de un libro, pues nos ayuda a entender las ideas básicas de lo que estamos estudiando (*chunks*), y de este modo se generan nuevos patrones neurales y se conectan con otros ya almacenados en diferentes regiones de la corteza cerebral. Cada vez que intentamos recordar, modificamos nuestra memoria y este proceso de reconstrucción del conocimiento es muy importante para el aprendizaje (Van den Broek *et al.*, 2016). Este es un ejemplo de aprendizaje activo, que es aquel que requiere esfuerzo cognitivo o dificultades deseables (Bjork y Bjork, 1992). Este aprendizaje activo es muy importante en la infancia suscitando la curiosidad y fomentando el deseo de seguir descubriendo y aprendiendo (Bonawitz *et al.*, 2011).

Se ha comprobado que la práctica de recuperación de información es más efectiva cuando se realiza varias veces en sesiones separadas (Karpicke, 2017). Esto nos lleva a la práctica espaciada, otra técnica de estudio y aprendizaje potente. Existe amplia evidencia de que el aprendizaje se optimiza cuando se separan las sesiones dedicadas al estudio, en lugar de agruparlas. Parece que la práctica espaciada es más efectiva que la práctica agrupada porque genera más tiempo para reflexionar sobre lo que se está aprendiendo y ello permite consolidar mejor lo estudiado en la memoria a largo plazo: se refuerzan las conexiones neuronales ya formadas dotando de significado al aprendizaje (Wiseheart *et al.*, 2019). Sin olvidar lo importante que es el sueño en el proceso de consolidación de la memoria (Klinzing, Niethard y Born, 2019). Los estudios con neuroimágenes demuestran que agrupar los problemas en una sola sesión disminuye la actividad cerebral, tal vez porque la información repetida pierde gradualmente su novedad (Bradley *et al.*, 2015). La práctica distribuida crea el efecto de “dificultad deseable”.

En lo referente a la etapa de educación infantil, parece que estas técnicas también pueden utilizarse con éxito con la guía adecuada de la maestra (Fazio y Marsh, 2019).

2.2.3 La conexión cuerpo y cerebro

En los últimos años, la interacción entre el cerebro y el cuerpo ha recibido una nueva atención basada en la evidencia científica que sugiere que numerosos trastornos neurológicos, como la enfermedad de Alzheimer o el autismo, entre otros, implican la conexión entre el cerebro y el cuerpo a través del sistema nervioso autónomo, junto a vías endocrinas e inmunitarias asociadas (Gómez-Pinilla, 2022).

A diferencia de lo que creíamos años atrás, el cuerpo no es simplemente un aparato de comunicación bidireccional para el cerebro, sino que desempeña un papel crucial en los procesos cognitivos, es decir, los sistemas sensoriales y motores que gobiernan el cuerpo están enraizados en los procesos cognitivos que nos permiten aprender (Dum *et al.*, 2019). Un ejemplo sobre cómo el movimiento corporal y las sensaciones físicas ejercen una gran influencia sobre nuestros

pensamientos y sentimientos es el de los gestos. Cuando utilizamos las manos para acompañar las explicaciones podemos revelar conocimientos implícitos y contribuir a que se asimile la información novedosa (Goldin-Meadow, 2017). Además de reflejar lo que sabemos, los gestos pueden mejorar nuestra forma de pensar si esa capacidad se estimula de forma adecuada. Por ejemplo, en la enseñanza inicial de las ecuaciones matemáticas, si acompañamos la explicación con gestos manuales que señalan los números del miembro de la izquierda, nos paramos al llegar al igual y luego señalamos los números del miembro de la derecha, se transmite mejor la información que no cuando vamos señalando de forma seguida los términos de ambas ecuaciones. Además, enseñar a los estudiantes a expresarse con gestos mientras hablan, les ayuda a entender mejor el concepto de ecuación matemática (Singer y Goldin-Meadow, 2005).

En el aprendizaje de una nueva lengua, cuando acompañamos una palabra o frase con un gesto es más fácil recordarla, favoreciéndose la consolidación del nuevo vocabulario (Macedonia y Mueller, 2016). Y en un estudio reciente en el que se animó a niñas y niños de seis años de edad a que utilizaran las manos para explicar historias que habían sido narradas previamente por las maestras (también gesticulando), obtuvieron mejoras en sus habilidades narrativas en comparación con el grupo de estudiantes que volvieron a contar la historia sin recibir ninguna instrucción referente a la producción de gestos (Vilà-Giménez y Prieto, 2020).

Algo parecido ocurre cuando los estudiantes simulan, manipulan o interactúan con objetos que intervienen en el aprendizaje. Niños de cuatro años de edad se muestran más curiosos cuando se les deja analizar juguetes originales que no cuando el docente les ha explicado previamente el funcionamiento de otros similares. Ello compromete su curiosidad y aprendizaje (Bonawitz *et al.*, 2011).

Desde la perspectiva neurocientífica, el buen funcionamiento neuronal requiere el adecuado suministro de glucosa y oxígeno que dependen del flujo sanguíneo del cerebro. Y para ello tienen que funcionar bien el corazón y el resto de órganos del cuerpo que posibilitan toda una serie de procedimientos regulatorios que nos permiten vivir (Carvalho y Damasio, 2021). Es por ello que el ejercicio físico, el sueño y la nutrición son imprescindibles para una buena salud cerebral y tienen un gran impacto sobre el aprendizaje.

2.2.3.1 Actividad física

En los últimos años se han producido grandes avances en la comprensión de los mecanismos moleculares y celulares responsables de la incidencia positiva del ejercicio físico sobre el cerebro. En concreto, las moléculas BDNF (factor neurotrófico derivado del cerebro) e IGF-1 (factor de crecimiento insulínico tipo 1), cuyos niveles aumentan con la actividad física, son muy importantes porque incrementan la plasticidad sináptica, la neurogénesis y la vascularización cerebral en zonas relacionadas con la memoria y la regulación del estrés, como el hipocampo

(Gómez-Pinilla, Vaynman y Ying, 2008). En los últimos años también se han realizado muchas investigaciones que estudian los efectos del ejercicio en el rendimiento académico.

En el caso concreto de la infancia, una revisión reciente (Powell *et al.*, 2018) ha identificado el impacto positivo de la actividad física sobre la salud global, mejorando la cognición (rendimiento académico y funciones ejecutivas), pero también la salud cardiovascular, la salud ósea (combate la osteoporosis), la capacidad aeróbica y la fuerza muscular (disminuye el riesgo de padecer enfermedades crónicas), el peso corporal (combate la obesidad) y la salud mental (disminuye el riesgo de desarrollar depresión).

En comparación con las aulas sedentarias, la participación en breves descansos activos en el aula (por ejemplo, de 5 a 20 minutos) puede mejorar el funcionamiento ejecutivo de los estudiantes (Graham *et al.*, 2021). Y si se realizan de forma sistematizada, se obtienen mejoras a largo plazo en las funciones ejecutivas básicas (Robinson *et al.*, 2022): memoria de trabajo, control inhibitorio y flexibilidad cognitiva.

Por otra parte, el incremento en la demanda cognitiva en un programa de actividad física puede optimizar el desarrollo de las funciones ejecutivas básicas. En la etapa de educación infantil, un estudio reciente identificó mejoras en los niños de 4 a 6 años que participaron en juegos activos que requerían una mayor comprensión y ejecución de los mismos (Schmidt *et al.*, 2020).

En lo referente a competencias académicas concretas, existe una fuerte evidencia de beneficios de la actividad física en el rendimiento matemático (Singh *et al.*, 2019).

Asimismo, la actividad física puede mejorar la cognición al mejorar el sueño. Se han identificado mejoras cognitivas a través de vías compartidas y otras independientes (Sewell *et al.*, 2021).

2.2.3.2 Sueño

El sueño ejerce una gran influencia en los sistemas nervioso, cardiovascular, inmunitario y endocrino (Krause *et al.*, 2021). En la actualidad se cree que el sueño es necesario para restaurar el estado energético y la plasticidad neuronal. La actividad durante la vigilia incrementaría el consumo energético de las neuronas potenciando sus sinapsis y el sueño serviría para restaurar la energía consumida por las neuronas manteniendo las conexiones adecuadas y reduciendo o eliminando las conexiones innecesarias (Cirelli y Tononi, 2021). Ello nos permitiría consolidar las memorias y el aprendizaje. En determinadas regiones del cerebro, como en el hipocampo o la corteza, se generan las mismas pautas de activación que se dieron para codificar la información durante el aprendizaje (Klinzing, Niethard y Born, 2019).

Muchos estudios han demostrado la importancia del sueño cuando se produce después del aprendizaje, estabilizando e integrando las memorias en el proceso de consolidación. En concreto, el sueño es especialmente importante para consolidar los conocimientos que creemos que son relevantes para nosotros o que tienen un significado especial (Wilhem *et al.*, 2011).

Pero el sueño también es importante cuando precede a la tarea de aprendizaje preparando al cerebro para codificar la información novedosa que nos llega a través de los estímulos sensoriales. Una siesta de pocos minutos puede producir ciertas mejoras en la memoria de estudiantes de cualquier etapa educativa, aunque parece que los mejores resultados se obtienen con periodos de tiempo más prolongados. (Cousins *et al.*, 2019).

Un metaanálisis reveló que la somnolencia diurna, la falta de sueño y la mala calidad del mismo conllevan un peor rendimiento académico en la infancia (Dewald *et al.*, 2010). Y su incidencia es muy importante para las funciones ejecutivas del cerebro debido a que la corteza prefrontal es muy sensible a la falta de sueño. La privación del sueño durante 24 horas conlleva una reducción en el metabolismo de la glucosa en esa región, junto a otras también básicas para un buen rendimiento cognitivo, que no se revierte completamente con una noche de sueño posterior (Satterfield y Killgore, 2019).

En el caso de la infancia, las necesidades de sueño son mayores que en los adultos, aunque existe mucha variabilidad al respecto. En el rango de edad de los 3 a los 5 años, se recomiendan entre 10 y 13 horas de sueño cada día con las siestas incluidas (Paruthi *et al.*, 2016).

2.2.3.3 Nutrición

Sabemos que las necesidades energéticas de nuestro cerebro son muy altas: como mínimo, representan el 20 % del consumo energético corporal. Pero no todas las calorías tienen la misma incidencia sobre nuestras capacidades cognitivas y estados anímicos.

Se ha comprobado que la buena alimentación y un estilo de vida sano afectan positivamente a nuestro cerebro a través de toda una serie de procesos moleculares y celulares asociados al metabolismo energético y a la plasticidad sináptica, que son fundamentales para la transmisión y el procesamiento de la información en el cerebro (Gómez-Pinilla y Tyagi, 2013). Además, los reguladores bien establecidos de la plasticidad sináptica (como el BDNF) pueden funcionar como moduladores metabólicos respondiendo, tanto a señales externas, a través del sistema nervioso autónomo, como a la ingesta de alimentos (Gómez-Pinilla, 2008). Los ácidos grasos omega 3, en especial el DHA (ácido docosahexaenoico), que está presente en el pescado azul, pueden incrementar los niveles de BDNF al favorecer la transmisión de información entre neuronas, incluso a través de cambios epigenéticos. De hecho, se han hallado niveles más bajos de DHA en niños con peor rendimiento académico (Montgomery *et al.*, 2013).

Diversos estudios han identificado los beneficios cognitivos de la dieta mediterránea, especialmente en lo referente a la memoria y las funciones ejecutivas (Hardman *et al.*, 2016; Valls-Pedret *et al.*, 2015). Por el contrario, cuando existe un exceso calórico derivado de un predominio de grasas en la dieta, se reduce la sensibilidad de los receptores NMDA (Valladolid-Acebes *et al.*, 2012), moléculas que intervienen en la plasticidad neuronal.

Por otra parte, parece que el desayuno puede ser importante para un buen rendimiento cognitivo, especialmente en la infancia. El incremento de los niveles de la grelina, hormona responsable de la sensación de hambre, puede alterar la capacidad de autocontrol favoreciendo las conductas impulsivas (Anderberg *et al.*, 2016).

2.2.4 La creatividad

La creatividad es un constructo complejo constituido por múltiples componentes que es difícil de valorar. Más allá de sus aspectos culturales, estéticos o artísticos, desde una perspectiva neurocientífica, la creatividad puede definirse como un proceso cerebral que produce algo original y valioso (De Souza *et al.*, 2014). Sin embargo, lo novedoso para una persona puede no serlo para otra, y la utilidad de los productos creativos es subjetiva. Esta es la razón por la que Kounios y Beeman (2015) definen la creatividad como la capacidad para reinterpretar algo descomponiéndolo en sus elementos y recombinando estos de forma sorprendente para alcanzar algún objetivo. Así, por ejemplo, elementos familiares como colores, notas musicales, letras, metales, productos o emociones pueden recombinarse para formar creativos cuadros, canciones, poemas, herramientas, planes de negocio o proyectos personales. Cuando este tipo de recombinación se produce de forma espontánea, tenemos el llamado *insight*, el cual nos permite dar con una solución de forma repentina e inconsciente (Kounios y Beeman, 2014). Pero esta combinación también puede derivar de un proceso más gradual y consciente que se conoce como *pensamiento analítico*: en él se consideran de forma deliberada y metódica muchas posibilidades hasta encontrar la solución. La memoria de trabajo es, junto con la atención, uno de los ingredientes básicos para el proceso creativo voluntario; en cambio, no juega un papel importante en el proceso creativo espontáneo (Ellamil *et al.*, 2012). La creatividad es el resultado de la cooperación eficiente entre estos dos sistemas que están en estrecha comunicación y se activan de forma alterna (Beaty *et al.*, 2016).

Gracias a la evidencia científica, hoy sabemos que la creatividad es inherente a todo ser humano y puede potenciarse independientemente de la edad, la capacidad intelectual o el entorno en el que se desarrolle (Scott, Leritz y Mumford, 2004). Las redes de la creatividad verbal, espacial o musical son distintas, pero todas tienen un nexo común que actúa como centro de operaciones del proceso creativo: la corteza prefrontal (Boccia *et al.*, 2015).

Los estudios con neuroimagen han identificado circuitos neuronales concretos que participan en el pensamiento creativo (Beaty *et al.*, 2018): la red neuronal por defecto (corteza cingulada posterior, precúneo y lóbulo parietal posterior) genera las ideas a través de procesos de visualización e imaginación, una red atencional *de asignación de relevancia* (ínsula anterior y corteza cingulada anterior) las selecciona y se transmiten a la red ejecutiva (corteza

prefrontal dorsolateral y regiones parietales anteriores) que nos permite focalizar la atención de forma consciente en la tarea para así evaluar esas ideas. El proceso requiere tiempo y conocimientos previos para que puedan realizarse las correspondientes asociaciones entre ideas pertinentes (Benedek *et al.*, 2021).

El proceso de resolución a través del *insight* requiere una reinterpretación de la tarea desde perspectivas diferentes. Inicialmente, empezamos a trabajar con el problema de forma crítica y consciente, pero si no somos capaces de resolverlo alcanzamos una fase de bloqueo en la que no sabemos cómo continuar. O quizás interrumpimos la tarea por alguna cuestión concreta. De cualquier forma, existe un parón en el proceso de resolución del problema que nos permite disfrutar o preocuparnos de otras tareas y que, debido a los mecanismos inconscientes de nuestro cerebro que siguen trabajando en el problema, puede ser interrumpido por ese “¡eureka!” con el que se alcanza de forma impredecible la solución ansiada (Kounios y Beeman, 2014). Cuando se ha analizado este proceso en el laboratorio se ha detectado en el hemisferio cerebral derecho, un segundo antes de que aparezca el *insight*, un patrón de actividad cerebral alfa consistente en ondas de menor frecuencia asociadas a periodos de relajación que son una señal de una percepción visual reducida (Kounios y Beeman, 2009). Imaginar, divagar o pensar alternativas a las situaciones cotidianas en un estado calmado activará la importante red neuronal por defecto que posibilita una atención no centrada necesaria para la aparición de ideas creativas, desactivando la red ejecutiva, tal como se ha comprobado en experimentos con músicos cuando improvisan (Loui, 2018).

En consonancia con el periodo de relajación asociado a la actividad cerebral alfa previa a la aparición del *insight*, se ha constatado la importancia de su periodo de incubación. Cuando estamos bloqueados ante un determinado problema, hacer un descanso para retomarlo posteriormente incrementa la probabilidad de resolverlo (Sio y Ormerod, 2009), algo especialmente relevante en clave educativa. Aparcar una tarea para realizar otra distinta pero no demasiado exigente, hacer ejercicio físico o, simplemente, dormir puede resultar muy beneficioso. Todo lo anterior confirma la importancia, especialmente en la infancia, de parones *pasivos* durante la clase como estrategia necesaria para optimizar los recursos cognitivos, como la atención, fomentando los procesos de imaginación y visualización.

Las personas más felices suelen resolver mejor los problemas a través del *insight* mostrando una mayor capacidad para asociar ideas lejanas y una atención visual más abierta (Subramaniam *et al.*, 2009). Las emociones positivas posibilitan una mayor exploración, respuestas menos habituales y reflexiones novedosas. Sin embargo, la ansiedad perjudica el *insight* al disminuir la actividad de la corteza cingulada anterior, región importante de la red atencional, disminuyendo así la percepción y la capacidad para reorientar los pensamientos.

Aunque la hora del día no suele afectar a la capacidad de los estudiantes para resolver problemas analíticos, se ha comprobado que la resolución de problemas mediante el *insight* se favorece en horarios del día no óptimos en los que el cerebro está cansado y así es más receptivo a la información inusual. Por ejemplo, las personas con el cronotipo “alondra” se benefician más del periodo nocturno mientras que los “búhos” resuelven mejor los problemas creativos por la mañana (Wieth y Zacks, 2011).

En el contexto del aula, la planificación estructurada, tanto en el espacio como en el tiempo, de actividades que fomentan la creatividad incide positivamente en el desempeño creativo del alumnado (Beghetto y Karwowski, 2018). Esto suele asumirse con naturalidad en el aula de educación infantil en la que se diseñan escenarios, rincones o zonas de juego libre donde se induce a la actividad a través de los materiales que se proponen y del acompañamiento del adulto (Molina, 2022). Los efectos se amplifican cuando estas estrategias se realizan en entornos naturales (Chawla, 2020).

2.2.5 Competencias académicas

Al nacer, los bebés tienen todos los grandes circuitos cerebrales bien organizados, lo cual les permite mostrar fuertes intuiciones respecto a las personas, objetos, espacio, número, etc. Por ello, actúan como científicos en ciernes que van adquiriendo modelos adecuados del mundo que les rodea y que, a través de los mecanismos de neuroplasticidad, irán refinando con el paso de los años (Gopnik y Tenenbaum, 2007). La educación formal tiene un gran impacto en el desarrollo del cerebro, modificándolo y dotándolo de habilidades que se mantendrán durante toda la vida. Según la hipótesis del reciclaje neuronal (Dehaene, 2005), con amplio respaldo de la evidencia científica, la educación conlleva el reciclaje de circuitos cerebrales existentes que tienen grandes restricciones anatómicas heredadas del proceso evolutivo de nuestra especie. Por ejemplo, para calcular o leer, las niñas y niños tienen el soporte de regiones que evolucionaron para otro uso pero que, gracias a los procesos de plasticidad cerebral, pueden reorganizarse para cumplir una nueva función cultural, como en el caso de los números arábigos o el alfabeto (Dehaene y Cohen, 2007). El aprendizaje de las matemáticas se apoya en una representación innata de las cantidades numéricas, que luego se va refinando. En concreto, la corteza prefrontal y el lóbulo parietal contienen un circuito con neuronas sensibles a la cantidad aproximada de objetos en un conjunto, una especie de recta numérica mental que utilizamos cuando realizamos operaciones aritméticas (Viswanathan y Nieder, 2013). Por otra parte, el aprendizaje de la lectura recicla áreas cerebrales que inicialmente están dedicadas a la visión y al procesamiento de la lengua hablada (Dehaene y Cohen, 2011). La alfabetización crea una nueva puerta de entrada visual hacia los circuitos del lenguaje.

2.2.5.1 El cerebro matemático

Las investigaciones neurocientíficas de los últimos años han revelado que cuando el bebé nace su cerebro no es una página en blanco y que los niños en la etapa de educación infantil muestran un sentido numérico que les faculta para adentrarse en el terreno de la aritmética sin que se le haya enseñado el lenguaje simbólico asociado a ella, a diferencia de lo que creía Piaget (Guillén, 2015).

De forma sorprendente, los bebés son capaces de detectar cambios sutiles en las cantidades numéricas mejor que en otros parámetros físicos como, por ejemplo, el tamaño de los objetos. Recién nacidos pueden llegar a distinguir un conjunto de 4 puntos respecto a uno de 12; con 6 meses diferencian un conjunto de 8 puntos respecto a uno de 16 y con 9 meses distinguen uno de 8 respecto a uno de 12, es decir, muestran un sentido numérico que se va perfeccionando con la edad (Szkudlarek y Brannon, 2017). Asimismo, el bebé nace con mecanismos innatos que le permiten discriminar entre dos o tres objetos sin necesidad de contar y entender operaciones aritméticas elementales en las que intervienen los primeros números naturales (Wynn, 1992).

El sentido numérico que permite a los bebés identificar pequeñas cantidades sin necesidad de contar también les permite comparar cantidades mayores, un proceso que se irá puliendo progresivamente a lo largo de la infancia. Se cree que la integración de estas dos formas diferentes de representación numérica, una para números pequeños –hasta el tres– y otra intuitiva para números grandes –que nos informa de que cualquier conjunto tiene asociado un número cardinal–, es fundamental para que el niño, en torno a los tres o cuatro años de edad, vaya comprendiendo el concepto de número natural, esencial para el aprendizaje de la aritmética (Dehaene, 2011). Como paso previo a la adquisición de conceptos matemáticos más complejos, el niño infiere que un conjunto posee un número de elementos concreto, por ejemplo 8, y que este número aporta una información diferente de 7 o 9.

Los estudios con neuroimágenes han confirmado que el pensamiento matemático activa circuitos cerebrales independientes de los que intervienen en el procesamiento del lenguaje. En concreto, existe una franja específica de la corteza cerebral que se encuentra en los dos hemisferios del lóbulo parietal, el surco intraparietal, que se activa ante cualquier tipo de presentación numérica, sea un conjunto de puntos, un símbolo o una palabra que hace referencia a un número (Amalric y Dehaene, 2016). Durante su desarrollo, el niño aprende a relacionar la representación no simbólica («■ ■ ■») asociada a la aproximación, que es independiente del lenguaje, con el sistema de representación simbólico que se le enseña para caracterizar a los números, bien mediante los números arábigos (3), bien mediante las palabras (*tres*).

Existen evidencias de que estos dos sistemas de representación diferentes, uno innato y el otro adquirido, están muy relacionados: los niños que se desenvuelven mejor en tareas no simbólicas (por ejemplo, estimaciones o aproximaciones), lo hacen también mejor en las tareas que requieren

del lenguaje simbólico (por ejemplo, las operaciones aritméticas), y ello predice un mejor rendimiento en la asignatura de matemáticas años después (Wang *et al.*, 2016). E incluso pueden optimizarse los resultados cuando se conecta el entrenamiento de conceptos matemáticos no simbólicos (comparaciones y estimaciones) con el conocimiento numérico simbólico (Dillon *et al.*, 2017).

Todo lo anterior sugiere lo importante que resulta en la educación matemática fomentar la intuición numérica, en lugar de introducir las matemáticas como una disciplina abstracta, asociar los números con objetos concretos de la vida real y dar mayor importancia al juego en el aprendizaje. Introducir actividades informales en la infancia temprana que incluyan los símbolos numéricos, como sucede en multitud de juegos de mesa, constituye una estrategia educativa muy útil que también se puede favorecer en el entorno familiar (Merkley y Ansari, 2016). Sin olvidar los aspectos emocionales que pueden llegar a perjudicar el aprendizaje de las matemáticas que, en muchas ocasiones, parten de las creencias limitantes y prejuicios de los propios educadores. Por ejemplo, revisiones recientes demuestran que no existen diferencias de género en la adquisición de las competencias matemáticas (Hutchison, Lyons y Ansari, 2019).

2.2.5.2 El cerebro lector

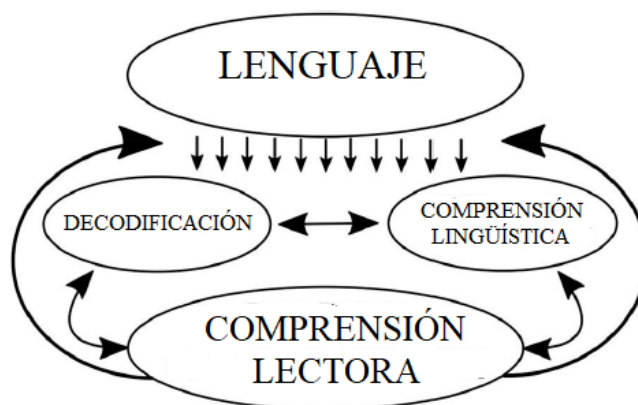
A diferencia del lenguaje oral, la lectura no tiene una base genética y requiere un aprendizaje explícito que puede darse a cualquier edad (Dehaene, 2009).

La aparición de la lectura fue posible debido a la existencia previa de los sustratos neurales del lenguaje, que en la mayoría de las personas se localizan en el hemisferio cerebral izquierdo, aunque regiones del hemisferio derecho también participan en cuestiones lingüísticas como en el caso de la prosodia o en la interpretación de metáforas, inferencias, etc. (Barquero, Davis y Cutting, 2014). Los estudios con neuroimágenes han identificado tres sistemas neuronales imprescindibles para la lectura interrelacionados entre ellos, que conectan las áreas visuales con las del lenguaje (Banich y Compton, 2018): un sistema ventral que es el sistema de procesamiento visual que permite escanear la palabra, letra a letra; un sistema dorsal en el que se da la decodificación grafema-fonema; y un sistema anterior clave para la sintaxis y el léxico. En el sistema ventral se ha identificado el área visual de formación de palabras (en inglés, VWFA, *visual word form area*), una especie de nodo crítico alrededor del giro fusiforme que conecta de forma bidireccional las áreas visuales del cerebro con las áreas del lenguaje y que el correspondiente aprendizaje permitirá traducir la información visual de las palabras en sonidos y significados (Dehaene y Cohen, 2011). La actividad reducida de este sistema ventral en el hemisferio izquierdo frente a palabras escritas es un marcador universal de las dificultades de lectura en idiomas tan dispares como el español, inglés, hebreo o chino (Rueckl *et al.*, 2015)

Los estudios con neuroimágenes han identificado grandes transformaciones en los sistemas neurales que posibilitan el proceso de aprendizaje continuo que nos permitirá leer, especialmente en circuitos del área VWFA (Moulton *et al.*, 2019). En concreto, se distinguen tres etapas importantes en la adquisición de la lectura que comenzarían en torno a los 5 o 6 años (Dehaene, 2009): la etapa de las imágenes, cuando el cerebro del niño fotografía palabras y se va adaptando visualmente a las letras del abecedario, la etapa fonológica en la que el cerebro empieza a convertir las letras en sonidos y la etapa ortográfica, cuando el niño es capaz de reconocer palabras de forma rápida y precisa.

El adecuado aprendizaje de la lectura requiere muchos años de trabajo continuo que puede verse afectado por el tipo de lengua o por el entorno sociocultural en el que crecemos. Junto a esto, se han identificado una serie de habilidades específicas que son importantes en ese aprendizaje, como la adquisición de vocabulario, la adquisición de la conciencia fonológica y el desarrollo de una adecuada fluidez y comprensión lectora (Nation, 2019; ver figura 1).

Figura 1. Habilidades necesarias en el aprendizaje de la lectura (Nation, 2019)



Los niños aprenden el significado de gran parte de las palabras de forma indirecta a través de experiencias cotidianas con el lenguaje oral y el escrito. Y, por supuesto, también aprenden palabras del vocabulario de forma directa cuando se les enseña de forma explícita, lo cual es especialmente relevante en el caso de palabras poco frecuentes. Todo esto es muy importante en la etapa de educación infantil porque se ha demostrado que la exposición temprana al lenguaje de los niños impacta en sus habilidades lingüísticas, cognitivas y logros académicos posteriores, lo cual está muy vinculado al estatus socioeconómico familiar (Romeo *et al.*, 2018). Disfrutar, por ejemplo, de la lectura compartida de cuentos tiene un impacto positivo en el cerebro de los pequeños activando más regiones críticas del lenguaje, como el territorio de Broca, que más tarde se fortalecerán y les permitirán leer y entender textos (Hutton *et al.*, 2020).

En lo referente al desarrollo de la conciencia fonológica requiere que el docente enseñe al niño a orientar su atención hacia el nivel acertado de organización del habla. Cuando prestamos atención

a los sonidos, orientamos el procesamiento cerebral hacia las áreas cerebrales del lenguaje que se utilizan para la lectura. Ese parece que es el camino adecuado. Los estudios revelan que este entrenamiento fonológico en el que se dirige la atención a las correspondencias entre fonemas y grafemas es el más adecuado para el aprendizaje del niño, y favorece en él un desarrollo autónomo (Castles, Rastle y Nation, 2018). Prestar atención a la forma global de las palabras impide descubrir el código alfabético y orienta los recursos del cerebro hacia un circuito inadecuado del hemisferio derecho. Para aprender a leer, solo el entrenamiento fónico, que concentra la atención en las correspondencias entre las letras y los sonidos, activa el circuito de la lectura del hemisferio izquierdo y facilita el aprendizaje (Dehaene, 2019; Yoncheva *et al.*, 2010).

Una adecuada comprensión lectora requiere una buena capacidad de decodificación, pero también son básicas toda una serie de habilidades lingüísticas asociadas al vocabulario, el dominio gramatical, la comprensión auditiva o al uso de la memoria de trabajo verbal (Hjetland *et al.*, 2019).

2.3 Controversias

2.3.1 Neuromitos

El término *neuromito* se ha atribuido al neurocirujano Alan Crockard, quién, en la década de 1980, puso de manifiesto la facilidad con la que arraigaban en el contexto de la medicina muchas ideas acientíficas sobre el cerebro.

En 2002, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD en sus siglas en inglés), redefinió el término *neuromito* como “un concepto erróneo generado por un malentendido, una mala interpretación o una cita equivocada de hechos científicamente establecidos (por la investigación en el campo de la neurociencia) para justificar el uso de la investigación neurocientífica en la educación y en otros contextos” (OECD, 2002). Los neuromitos han influido sobremanera en la percepción e interpretación de los educadores acerca de la neurociencia y de su impacto en la educación (Forés *et al.*, 2015).

En los últimos años las neurociencias han despertado el interés del público en general. Es lo que se ha denominado como “neurofilia” (Pasquinelli, 2012). Ello ha contribuido a la aparición de muchas disciplinas que utilizan el prefijo neuro. Una simple búsqueda en internet nos permite encontrar páginas que hablan de neuroarte, neurocoaching, neuroliderazgo, neuromarketing, neuroarquitectura, neurocultura, etc. Y, por supuesto, de neuroeducación. La pregunta que nos planteamos es si todas estas disciplinas tienen el respaldo empírico de la neurociencia. Y la respuesta es que no siempre es así (Grospietsch y Lins, 2021). Lo que parece claro es que, más allá de que esas actividades tengan un componente *neuro*, dado que todo lo que hacemos tiene un sustento en el cerebro, suelen utilizarse para llamar la atención intentando aprovechar la eclosión

de la neurociencia en los últimos años y así dar un barniz científico a lo que no lo es. Lamentablemente, a menudo, muchos profesores se muestran entusiasmados con productos que están “basados en el cerebro”, pero muchos de estos no están respaldados por la evidencia científica y son promocionados por empresas para las que la neurociencia es solo un escaparate para su producto comercial (Simons *et al.*, 2016).

Investigadores relevantes en el campo de la neurociencia cognitiva como Sarah-Jayne Blakemore (2018), Stanislas Dehaene (2019), Usha Goswami (2019) y tantos otros, coinciden con una gran parte de los docentes al considerar que el conocimiento sobre el cerebro es relevante en la práctica educativa (Dekker *et al.*, 2012). Sin embargo, no siempre se interpreta la información que proviene de la investigación científica de forma adecuada.

Un estudio realizado por el investigador Paul Howard-Jones (2014a), publicado en la prestigiosa revista *Nature Reviews Neuroscience*, en el que se consultó a 932 profesores del Reino Unido, Países Bajos, Turquía, Grecia y China reveló, a pesar de la falta de evidencias empíricas sólidas, que el 49 % de ellos creían que usamos solo el 10 % de nuestro cerebro; el 96 %, que aprendemos mejor cuando recibimos la información en nuestro estilo de aprendizaje favorito (visual, auditivo o cinestésico); el 77 %, que ejercicios como los que propone el programa Brain Gym mejoran la integración de información entre los dos hemisferios cerebrales, y el 80 %, que podemos clasificar a los alumnos según su dominancia cerebral, sea del hemisferio izquierdo o del derecho. Resultados similares se han encontrado en España (Ferrero, Garaizar y Vadillo, 2016) y en países latinoamericanos (Gleichgerricht *et al.*, 2015). Estos estudios han identificado algunos factores que pueden provocar el distanciamiento entre la neurociencia y la educación, como la falta de un lenguaje común entre los científicos y los educadores, la dificultad de los docentes para acceder a la literatura científica en su lengua materna o malentendidos en la transmisión de la información por cuestiones culturales, por ejemplo.

Una revisión reciente que evaluó 24 artículos publicados en los años 2012-2020 con una muestra total de más de 13500 personas vinculadas a la educación (docentes, directores, estudiantes, formadores, etc.) en casi 20 países, indica que la prevalencia de neuromitos entre educadores oscila entre el 27,3 % y el 84,5 % (promedio ponderado del 52,1 %), mostrando una tendencia notablemente estable (Torrijos-Muelas, González-Víllora y Bodoque-Osma, 2021). Los autores no encontraron evidencia de disminución durante el período analizado de ocho años, lo que sugiere una fuerte persistencia de las creencias de los neuromitos entre los educadores a pesar de que, ya en el año 2002, la OECD empezó a alertar sobre los neuromitos educativos (OECD, 2002). Por ejemplo, con respecto al neuromito de los estilos de aprendizaje VAK (visual, auditivo, cinestésico), uno de los más arraigados en los entornos educativos, otra revisión reciente que evaluó 33 artículos publicados en los años 2009-2020 indica una alta prevalencia de creencias en

este neuromito entre los educadores que oscila entre el 58 % y el 97,6 % (promedio ponderado del 89,1 %), sin evidencia de disminución durante el período analizado de once años (Newton y Salvi, 2020).

En la práctica, se ha comprobado que los docentes que han realizado cursos sobre neurociencia durante su formación académica cometen un número de errores similar en los cuestionarios sobre neuromitos que aquellos docentes que no han realizado ninguna formación previa sobre el cerebro (MacDonald *et al.*, 2017). Aunque todavía no hay evidencia directa de que creer en estos conceptos erróneos obstaculice las prácticas de enseñanza, las políticas educativas ya están influenciadas por los neuromitos, lo que conlleva muchas veces un gasto irrazonable de recursos y dinero.

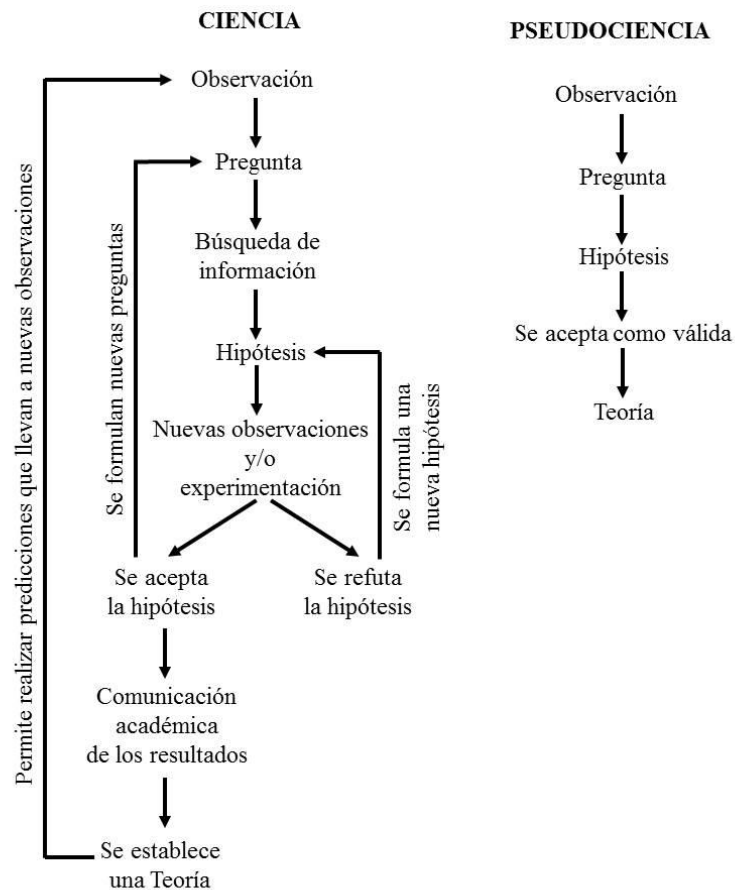
Las intervenciones que se centran tanto en la activación del pensamiento racional (a través de la refutación o cambio conceptual) como en la mitigación del pensamiento intuitivo, tan arraigado en muchas situaciones, son vías prometedoras que se están analizando para disipar las creencias en los neuromitos e inculcar prácticas de enseñanza basadas en la evidencia en el aula (Rousseau, 2021), así como talleres específicos de desarrollo profesional docente y seminarios sobre la neurociencia del aprendizaje (Chang *et al.*, 2021).

Una revisión reciente sobre los resultados de la formación en neurociencias para docentes encontró solo diez artículos en los que la descripción de los cursos de neurociencias utilizados era lo suficientemente detallada y de calidad para permitir una evaluación exhaustiva de la investigación actual sobre formación en neurociencias para profesores (Privitera, 2021). Aunque hubo algunas diferencias en la naturaleza de los cursos impartidos en cuanto a sus contenidos, duración, enfoque y duración, los resultados informados respaldan que la inclusión de conceptos de neurociencia en la formación docente es un esfuerzo valioso que puede tener un impacto positivo tanto en la práctica docente como en el rendimiento académico de los estudiantes. Sin embargo, la evidencia limitada y los problemas metodológicos dificultan evaluar cuáles son los beneficios específicos de la formación en neurociencias para los profesores. Solo a través de la adopción de una metodología más sólida, incluido el uso de grupos de control apropiados, los estudios futuros podrán sacar conclusiones sólidas sobre los verdaderos beneficios de la formación en neurociencia para los profesores.

Finalmente, comentar que como alternativa al cuestionario de respuesta cerrada (verdadero o falso) creado por Dekker *et al.* (2012) que sirvió de referencia a los estudios realizados en los diferentes países, Tovazzi *et al.* (2020) han creado un cuestionario con múltiples opciones que corresponden a situaciones de aprendizaje real en el aula, comprobando que de esta forma los neuromitos se descartan con mayor facilidad que si se pregunta por ellos de forma descontextualizada. Esto enlaza directamente con uno de los objetivos de nuestra investigación,

enmarcarla en el contexto del aula haciendo participar directamente a los educadores a través del correspondiente proceso de formación. Acercar la ciencia a la educación conlleva enseñar los elementos constituyentes básicos del **método científico** (ver apartado 5.1.1). Los conocimientos científicos se obtienen a través de la observación y la experimentación, que nos permitirán generar preguntas y razonamientos, construir hipótesis, deducir principios y formular teorías según el tipo de metodología utilizada (Bunge, 2013). A diferencia de estos, las propuestas pseudocientíficas consisten en creencias, afirmaciones o prácticas que no están basadas en el método científico o no pueden ser demostradas de forma fiable. Se aceptan como válidas hipótesis que no se ponen a prueba a través de la observación y experimentación correspondientes (ver figura 2, Bueno, 2019b).

Figura 2. Esquema general del método científico comparado con el método que siguen propuestas pseudocientíficas (Bueno, 2019b)



2.3.2 Críticas a la neuroeducación

La neuroeducación ha generado controversia en los últimos años. Algunos investigadores creen que los datos provenientes de la investigación neurocientífica están demasiado alejados (puente lejano) del aula para ser relevantes en la educación y que los estudios que provienen de la psicología que ponen el foco en lo cognitivo y en lo conductual son más apropiados.

Según estos autores, en el caso de que la neurociencia pudiera contribuir a la práctica educativa, lo haría de forma indirecta, a través de la psicología, en general, y de la psicología cognitiva y social, en particular. A continuación, analizamos algunas de las críticas más citadas en la literatura científica.

En un artículo pionero sobre la controversia asociada a la neuroeducación, Bruer (1997) sostenía que el puente entre la neurociencia y la educación estaba demasiado lejos para atravesarlo de forma directa ya que gran parte los aportes de las neurociencias se basan en experimentos con animales que difícilmente son extrapolables a los humanos. Basándose en tres hallazgos neurocientíficos muy populares entre los educadores en Estados Unidos durante la década de 1990 que no fueron interpretados de forma adecuada (sinaptogénesis, periodos críticos y entornos enriquecidos en el aprendizaje), Bruer exponía que la neurofisiología del desarrollo no servía como ciencia básica apropiada para la enseñanza y el aprendizaje, siendo la psicología cognitiva mucho más adecuada para los educadores. Según este autor, la neurociencia solo podía informar a la educación de forma indirecta y la única vía factible entre la neurociencia y la educación era la que comenzaba con la psicología cognitiva como punto de partida teórico. Una década más tarde, Bruer continuaba siendo escéptico sobre los intentos de generar puentes entre la neurociencia y la educación que no atendieran de forma adecuada a la psicología cognitiva (Bruer, 2006).

Más allá de un uso restrictivo del término neurociencia que no tiene en cuenta las particularidades de diferentes áreas de la disciplina, algo admitido por el propio Bruer en un artículo posterior (Bruer, 2016), el argumento del puente demasiado lejano asume un flujo de información lineal desde la neurociencia hasta la psicología cognitiva y la educación focalizado en un problema de relaciones entre disciplinas y los límites que acarrear. Sin embargo, desde la perspectiva neuroeducativa, asumimos que los grandes beneficios se obtendrán a través de un trabajo sinérgico y una actuación conjunta entre la neurociencia y la psicología cognitiva que brinden las herramientas complementarias adecuadas para vincular el funcionamiento cerebral, la comprensión de la mente y las prácticas educativas. Asimismo, tal como plantean Sigman *et al.* (2014), existe una larga historia de traducción del conocimiento de la ciencia básica a la aplicada que hace que ambas sean igual de pertinentes.

En Bishop (2014) se cuestiona que los ejemplos que suele presentar la neuroeducación, o no tienen ninguna utilidad práctica en educación, o faltan años para que su aplicación pueda ser realmente útil. Según esta autora, los experimentos que provienen de la psicología son más útiles para identificar cuáles son las formas más efectivas para enseñar a leer, por ejemplo, o para estudiar, como en el caso de la práctica espaciada. En estos casos concretos, los correlatos neurales de las diferentes tareas no aportan nada. Bishop cree que los estudios con neuroimágenes utilizados para identificar trastornos de aprendizaje o diagnosticar futuros déficits de aprendizaje son exagerados, poco prácticos e, incluso, caros.

En lo referente al último comentario, es cierto que los métodos utilizados en neurociencia para identificar déficits de aprendizaje son limitados y que solo complementan los marcadores de riesgo conductuales y sociales conocidos. Sin embargo, el desarrollo continuo de las tecnologías utilizadas en las distintas ramas de la neurociencia nos hace ser optimistas. Por ejemplo, en estudios con encefalogramas realizados en bebés con riesgos hereditarios de dislexia se ha observado un patrón de respuesta anormal a cambios de sonido, incluso previo a la comprensión total del lenguaje (Van der Leij *et al.*, 2013). Este tipo de resultados permitirían la detección precoz de este y otros trastornos típicos de aprendizaje. Incluso en un futuro cercano se podrían utilizar medidas de ADN disponibles al nacer para predecir resultados educativos años después, tanto en la infancia como en la adolescencia (Allegrini *et al.*, 2019). Esto es muy importante en clave educativa porque la identificación temprana incrementa las posibilidades de éxito de las intervenciones posteriores o, simplemente, facilita un seguimiento más específico de los marcadores de riesgo tradicionales beneficiando el progreso individual de cada niño.

Bowers (2016) sostiene que no hay ejemplos actuales desde la neurociencia que promuevan métodos de enseñanza nuevos y efectivos, y que es poco probable que la neurociencia mejore la enseñanza en el futuro. Según este autor, los supuestos éxitos de la neuroeducación parten de tres tipos de recomendaciones distintas:

a) Recomendaciones evidentes, es decir, que no aportan nada novedoso ni relevante. Por ejemplo, cuando se alude al impacto de las emociones en el aprendizaje mencionándose el deterioro de las conexiones entre el sistema límbico y la corteza prefrontal en situaciones de miedo o estrés: “Todo el mundo sabe que los estudiantes estresados o temerosos aprenden mal” (p. 601). O la evidencia de que el cerebro cambie en respuesta a la enseñanza, como consecuencia de los mecanismos de la neuroplasticidad, es irrelevante, según Bower.

b) Recomendaciones engañosas, ya que provienen de los estudios conductuales. Por ejemplo, cuando se atribuye a la neuroeducación el beneficio de la práctica de recuperación en el aprendizaje: “Aunque estos hallazgos son puramente conductuales, los resultados a menudo se presentan en apoyo de la neuroeducación” (p. 602).

c) Recomendaciones injustificadas, dado que se basan en información tergiversada de las investigaciones neurocientíficas. Un ejemplo de este tipo serían los neuromitos (como el de los estilos de aprendizaje o sobre el funcionamiento del cerebro izquierdo y cerebro derecho) que se usan para justificar una amplia variedad de programas de enseñanza que tienen poco o ningún apoyo empírico y que suelen ser muy costosos. Bowers propone que: “En lugar de introducir la neurociencia en la formación del profesorado, sería mejor evitar todas las formas de enseñanza motivadas por la neurociencia” (p. 604).

Según este autor, en la práctica es más fácil caracterizar las capacidades cognitivas de los niños sobre la base de medidas conductuales que sobre la base de medidas cerebrales y, como consecuencia de ello, es muy difícil que la neurociencia suministre información relevante para la enseñanza más allá de la psicología. En opinión de Bowers, existen razones de peso para pensar que la neuroeducación no ayudará a mejorar los métodos de enseñanza en el futuro. Menciona que el enfoque común utilizado en neurociencia centrado en los déficits de aprendizaje es problemático. Un ejemplo de ello serían los estudios con neuroimágenes para apoyar el entrenamiento fonológico en el aprendizaje inicial de la lectura. Según Bowers, la activación anormal en áreas del cerebro que intervienen en el procesamiento fonológico en el caso de niños disléxicos no aporta nada relevante porque está ampliamente confirmado por los estudios conductuales que, además, pueden ir más allá de los déficits y centrarse en las habilidades adquiridas por los niños.

Bowers concluye su artículo comentando que un objetivo importante de la neurociencia es entender cómo cambia el cerebro en respuesta al aprendizaje, lo cual incluye al aprendizaje que se da en el aula. Y, como consecuencia de ello, “Aunque los neurocientíficos no pueden ayudar a los maestros en el aula, los maestros pueden ayudar a los neurocientíficos cambiando el cerebro de sus estudiantes (enseñando)” (p. 609).

De todo lo planteado por Bowers (2016), podría deducirse que la neurociencia y la psicología compiten por ver qué disciplina ha de informar a la educación. Sin embargo, esta disputa no tiene sentido. Y más en los tiempos actuales en los que se aboga por una transdisciplinariedad en los aprendizajes, en especial cuando se vincula a las situaciones cotidianas (Knox, 2016). La neurociencia y la psicología constituyen enfoques complementarios para estudiar un mismo sistema, el sistema mente/cerebro. Porque, en la actualidad, la gran mayoría de científicos consideran que el cerebro es el órgano responsable de la mente. Asumiendo que el cerebro está en continua cooperación con el resto de los órganos del cuerpo humano, coordinando las diferentes acciones que posibilitan la supervivencia del organismo (Ekman *et al.*, 2022).

En consonancia con Howard-Jones *et al.* (2016), creemos que la neurociencia y la psicología operan en diferentes niveles de descripción y ello conlleva que sean disciplinas que utilicen

metodologías distintas que, además, tienen sus propias limitaciones. Ello debería alentar una colaboración interdisciplinaria que puede ser muy enriquecedora para el aprendizaje en el aula, en particular, y en la educación, en general. Un enfoque integrador que se asume desde la neurociencia cognitiva, disciplina que va más allá de una visión reduccionista limitada al nivel de los mecanismos neurales, por lo que en muchas ocasiones es difícil discernir la contribución de las diferentes disciplinas por separado. Este tipo de cooperación entre disciplinas se ha comprobado que es muy útil en otros campos del conocimiento, como en el caso de la medicina (Thomas, 2013). Un médico realiza cursos sobre biología molecular y celular y se acepta con naturalidad que un conocimiento más amplio y global le puede ayudar a realizar un diagnóstico adecuado, sin necesidad de que estos conocimientos concretos sean prescriptivos en su práctica profesional. Según Howard-Jones *et al.* (2016), la neuroeducación es un campo interdisciplinario que genera puentes entre la neurociencia cognitiva, la psicología cognitiva y la práctica educativa. Como consecuencia de ello, las prácticas de la psicología deben ir de la mano con las de la neurociencia, y no se pueden pensar como disciplinas separadas.

En los experimentos de neurociencia cognitiva en los que se utilizan técnicas de visualización cerebral, como en el caso de la resonancia magnética funcional, los datos que provienen de las neuroimágenes están directamente ligados a los datos conductuales, por lo que no puede existir una jerarquía de conocimientos (Ansari *et al.*, 2017). Sin olvidar que existen muchos estudios neurocientíficos que no utilizan neuroimágenes y que tienen importantes implicaciones educativas. Por ejemplo, en lo referente a las funciones ejecutivas del cerebro (Diamond y Ling, 2016) o al desarrollo cognitivo (Goswami, 2019). El funcionamiento y desarrollo del cerebro afecta a los procesos psicológicos vinculados al desarrollo cognitivo que son relevantes para la educación. Por ello, los educadores pueden beneficiarse de una comprensión más científica de los procesos involucrados en el aprendizaje y de una buena comunicación entre las diferentes disciplinas que interpretan los procesos desde distintos niveles de análisis.

En respuesta a Bowers (2016), Gabrieli (2016) considera que, ciertamente, las medidas críticas de la educación son conductuales, como en el caso del aprendizaje de la lectura o el de la aritmética. Los correlatos neurales de las operaciones mentales o incluso la neuroplasticidad asociada a las intervenciones educativas no proporcionan una guía directa para la enseñanza en el aula. Sin embargo, cuestiona lo planteado por Bowers en tres aspectos:

1. La neuroeducación ha de considerarse como una ciencia básica que hace contribuciones específicas a la investigación educativa básica; no forma parte de la enseñanza aplicada en el aula.
2. La neuroeducación contribuye a las ideas sobre las prácticas y políticas educativas, más allá del currículo escolar, que son importantes para ayudar a los estudiantes vulnerables.
3. La investigación neuroeducativa que utiliza neuroimágenes no solo ha revelado por primera vez la base cerebral de las diferencias del desarrollo neurológico que tienen una gran incidencia

en los logros educativos, sino que también ha identificado diferencias cerebrales individuales que predicen el grado de aprendizaje de los estudiantes en diferentes contenidos curriculares. En varios casos, las medidas del cerebro mejoraron significativamente o superaron ampliamente las medidas conductuales convencionales en la predicción de lo que funciona para niños individuales. Según Gabrieli, la mejora educativa requiere investigación básica proveniente de diferentes disciplinas, no solo de la neurociencia, sino también de la ciencia conductual. E, igualmente, aplicaciones a pequeña escala, como los estudios controlados aleatorizados. Dichas intervenciones pueden tener un impacto en la forma de abordar el currículo. Esta idea es compartida por otros investigadores (Dehaene, 2019; Goswami, 2019) y forma parte del enfoque de nuestra investigación.

Por otra parte, según Dougherty y Robey (2018), el desafío para desarrollar intervenciones educativas efectivas no está en comprender los mecanismos cerebrales sino en entender los comportamientos que manifiesta el cerebro en entornos de aprendizaje complejos. Como consecuencia de ello, animan a que se invierta específicamente en estudios que provengan de la psicología social y de la psicología cognitiva por sus beneficios, tanto a corto como a largo plazo. Estos autores explican que los especialistas en marketing están utilizando la neurociencia como una herramienta de persuasión (programas de “brain training”) y tanto docentes como familias se ven inundadas con anuncios de productos supuestamente basados en el cerebro que prometen mejorar un montón de capacidades distintas. Es por ello que creen importante que los propios científicos regulen la forma de comunicar sus hallazgos en relación con sus aplicaciones prácticas reales: “Nuestra preocupación es que un enfoque basado en la neurociencia nos lleve por mal camino en la búsqueda de intervenciones educativas basadas en la evidencia en un mundo lleno de contrariedades” (p. 404).

En respuesta a Dougherty y Robey (2018), Thomas (2019) explica que la psicología por sí sola no es suficiente y que no puede aplicarse al margen de la neurociencia. Respecto al ejemplo del fracaso del “brain training”, Thomas comenta que el problema parte de la psicología al tender a constructos teóricos de dominio general, como en el caso de la memoria de trabajo, por ejemplo. La contribución de la neurociencia al entrenamiento cognitivo es simplemente que el cerebro es maleable y que el comportamiento se puede cambiar a través del entrenamiento. Se sabe desde principios del siglo XX (Thorndike y Woodworth, 1901) que el entrenamiento de habilidades rara vez conduce a la mejora de diferentes habilidades (**transferencia lejana**; ver apartado 4.1). Si los mecanismos de dominio general pudieran entrenarse, tal como se propuso desde la psicología, la transferencia lejana del aprendizaje sería la norma. Pero esto estaba en desacuerdo con los datos empíricos. Desde la perspectiva neurocientífica se asume que el conocimiento se almacena en las conexiones que conforman las redes neuronales, es decir, está integrado en la estructura. Esto

implicaría que se podría esperar una transferencia lejana del aprendizaje que mejorara el funcionamiento de todas las neuronas, poniendo el foco en sus necesidades energéticas y nutricionales. En opinión de Thomas (2019), la contribución de la neurociencia a la educación puede ser directa. Pone como ejemplo, los estudios sobre el efecto de la contaminación del aire sobre el funcionamiento cerebral. Los modelos animales que se utilizan en neurociencia demuestran que la contaminación del aire y la capacidad cognitiva tienen un vínculo de causalidad, mientras que los estudios en humanos solo muestran correlaciones entre ambas variables (Sunyer *et al.*, 2015).

Otra cuestión importante que menciona Thomas es que entender los mecanismos nos puede ayudar a mejorar algo que ya funciona, es decir, las ideas que provienen de la neurociencia no han de ser estrictamente originales. Y pone el ejemplo del sueño. Saber que dormir las horas adecuadas es necesario para nuestra salud no socava la contribución de la neurociencia sobre los efectos del sueño en la consolidación de las memorias a través de la interacción entre el hipocampo y la corteza cerebral.

El debate continúa y seguro que ello contribuirá a crear puentes sólidos en un campo de investigación reciente que no se detiene y que, año tras año, suministra nuevas evidencias que nos ayudan a entender cómo aprendemos.

2.3.3 Enfoque interdisciplinar de la neuroeducación

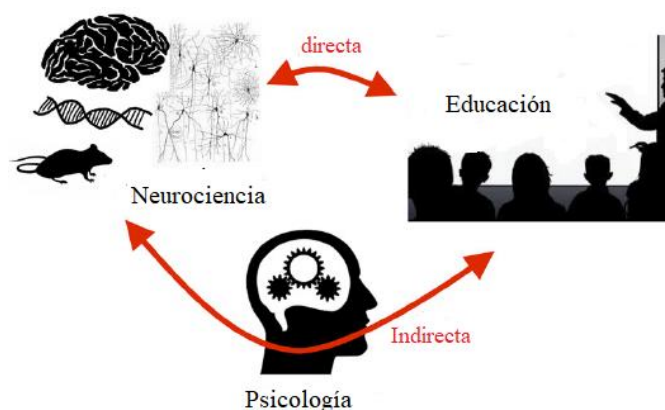
Todo lo que pensamos, decimos, sentimos o hacemos está regulado por nuestro cerebro. Comprender cómo se desarrolla y funciona el órgano cuya continua reestructuración posibilita el aprendizaje resulta fundamental para entender lo que significa ser persona, lo que constituye, en nuestra opinión, la esencia de la educación.

En la interacción entre la neurociencia, la psicología y la educación ha predominado la competencia por encima de la colaboración, y muchos investigadores educativos han desconfiado del impacto súbito vinculado a la aparición de la neuroeducación (Jolles y Jolles, 2021). Tal como hemos comentado en el apartado 2.3.2, algunos autores han argumentado que el campo de la psicología es suficiente para informar a la educación facilitando una comprensión científica de los procesos de aprendizaje. Esto podría tener sentido ya que la educación conlleva cambios en la conducta de los estudiantes a través de la enseñanza y la psicología estudia el comportamiento, mientras que la neurociencia conlleva el estudio de los mecanismos cerebrales subyacentes a la conducta. Sin embargo, este enfoque resulta insuficiente. Las respuestas a innumerables preguntas de gran interés educativo como “¿Por qué olvido la capital de Croacia y no lo que estaba haciendo durante el atentado de las torres Gemelas de Nueva York?”, “¿Por qué me quedo en blanco cuando me estreso en un examen?”, “¿Por qué recuerdo mejor la información o tengo más ideas cuando duermo bien?”, “¿Por qué hacía tantas cosas para impresionar a mis amigos cuando era adolescente?”, “¿Por qué me costó aprender menos un nuevo idioma en la infancia?”, “¿Por qué

me siento mejor tras una sesión de relajación o ejercicio?”, y muchas otras, reside en la forma particular de funcionar del cerebro, no en la psicología. Más allá de que resulte una obviedad que si el cerebro produce la mente, para entender la mente necesitamos entender cómo funciona el cerebro.

Según algunos modelos recientes, existen dos vías que vinculan la neurociencia con la educación (ver figura 3): una ruta indirecta a través de la cual la neurociencia da forma a la teoría psicológica y, como consecuencia de ello, la psicología influye en la educación, y una ruta que conecta directamente la neurociencia con la educación que considera al cerebro como un órgano biológico que necesita estar en óptimas condiciones para aprender (Howard-Jones, 2014b; Thomas, Ansari y Knowland, 2019).

Figura 3. Vías que vinculan la neurociencia con la educación (Thomas, Ansari y Knowland, 2019)



2.3.3.1 La ruta indirecta

Comencemos analizando algunos casos vinculados a la ruta indirecta en los que se demuestra la importancia de la interacción entre disciplinas para entender cómo aprendemos. En la **ruta indirecta**, la neurociencia se utiliza para ayudar a identificar las habilidades cognitivas básicas necesarias para la adquisición de la lectoescritura o la aritmética, por ejemplo, o el aprendizaje subyacente (Thomas, Ansari y Knowland, 2019). El objetivo aquí es identificar las posibles causas de ciertos déficits (por ejemplo, qué áreas del cerebro están menos activas, desarrolladas o peor conectadas) para luego poner en práctica estrategias que puedan enfocarse en las habilidades trabajadas. Estos métodos indirectos de investigación tienen grandes aplicaciones en la educación especial para abordar las necesidades de los niños con trastornos del desarrollo del lenguaje, dislexia, discalculia, trastornos de la función atencional y ejecutiva o trastornos sociales y emocionales (Miller y Maricle, 2022). Por ejemplo, se ha demostrado en niños con dislexia que enfatizar la información rítmica auditiva es tan efectivo como enfocarse directamente en la

fonología para mejorar la conciencia fonológica (Thomson, Leong y Goswami, 2013). Por otra parte, se ha identificado que el desarrollo atípico de áreas concretas del lóbulo parietal perjudica el procesamiento numérico en niños con discalculia (Butterworth, Varma, y Laurillard, 2011). Y en el caso del TDAH, se ha encontrado una relación directa entre los procesos atencionales y la activación de una red ejecutiva en la que interviene la corteza prefrontal (Shaw *et al.*, 2013). Este tipo de estudios sobre los mecanismos cerebrales subyacentes involucrados en el aprendizaje pueden ayudar a los profesionales de la educación que trabajen con estos niños a decantarse por la intervención más adecuada.

Desde la psicología, los mecanismos cognitivos propuestos tienden a ser de propósito general. Pensemos en el entrenamiento de la memoria de trabajo. Cabría esperar que los beneficios del entrenamiento se observaran en un amplio rango de habilidades que utilizaran el mismo mecanismo general (al resolver problemas matemáticos, por ejemplo). Sin embargo, las investigaciones actuales sugieren que la transferencia lejana del aprendizaje no suele darse (Sala y Gobet, 2017). La implicación es que los mecanismos reales empleados por el cerebro son menos generales que lo que supone la teoría cognitiva actual y que utiliza circuitos específicos para habilidades específicas (Dahlin *et al.*, 2008; ver apartado 4.1).

Asimismo, existen hallazgos conductuales que no pueden predecirse a partir de las teorías psicológicas. Sin embargo, esas observaciones pueden explicarse a través de las evidencias suministradas por la neurociencia sobre los mecanismos biológicos subyacentes identificados (Diamond y Amso, 2008). Pensemos, por ejemplo, en cómo se ve alterada la capacidad de aprendizaje de las personas con la edad. Comprender las bases del desarrollo cognitivo requiere conocer los diferentes procesos de desarrollo cerebral que se dan en las distintas etapas de la vida (Fischer, 2008), lo cual es especialmente relevante en la infancia y en la adolescencia (Giedd *et al.*, 1999). O recordemos la fuerte resistencia que encontraron los estudios en los que se observó que los bebés recién nacidos eran capaces de imitar las expresiones faciales de los adultos (Meltzoff y Moore, 1977; Meltzoff y Moore, 1983). Vincular las acciones motoras propias con la percepción de las acciones ajenas conllevaba una ejecución de alto nivel que se creía que constituía un logro demasiado sofisticado para un recién nacido. No obstante, el descubrimiento de las neuronas espejo proporcionó un mecanismo que podría ser la base de la capacidad de los recién nacidos para mostrar dicha imitación de forma bastante automática (Rizzolatti y Craighero, 2004).

2.3.3.2 La ruta directa

Por otro lado, hay fenómenos que parecen sorprendentes desde los conocimientos de las teorías cognitivas actuales que requieren adentrarse en los mecanismos neurales que los sustentan.

Pensemos, por ejemplo, en el impacto del sueño en el aprendizaje (Klinzing, Niethard y Born, 2019) o en el efecto de la meditación en la regulación conductual (Weng *et al.*, 2013).

Esto nos lleva a la **ruta directa** que conecta la neurociencia con la educación, a través de la cual se intentan mejorar los resultados educativos potenciando el funcionamiento del cerebro como órgano biológico, por lo que esta ruta está sujeta a limitaciones metabólicas. La ruta directa se puede pensar en términos de salud cerebral, es decir, el objetivo es optimizar las condiciones del cerebro del estudiante cuando está en el aula para que pueda aprender con todo su potencial.

Se sabe que factores que no competen a la psicología, como la actividad física (Hillman, Erickson, y Kramer, 2008), la nutrición (Gómez-Pinilla, 2008), la respuesta a las hormonas del estrés (Sapolsky, 2015) y la contaminación ambiental (Dadvand *et al.*, 2015), por ejemplo, pueden influir potencialmente en la función cerebral y, por ende, en el aprendizaje. Por lo tanto, la investigación sobre el impacto de los factores no psicológicos en los resultados educativos también forma parte del contexto neuroeducativo.

En consonancia con la necesaria transdisciplinariedad que planteamos en nuestra investigación, Seghier *et al.* (2019) sugieren que para aumentar el impacto a través de la vía directa la neurociencia ha de adoptar una visión holística que contextualice el aprendizaje en múltiples dimensiones, abarcando cuestiones vinculadas al bienestar de las personas, la cognición social, el procesamiento afectivo, factores nutricionales, factores genéticos, el sueño o el ejercicio. Este enfoque holístico implica la combinación de diversas disciplinas, metodologías de investigación y paradigmas que integren múltiples niveles de análisis útiles para informar a la educación (Han, Soyly y Anchan, 2019).

2.4 Retos y posibilidades de la neuroeducación

La neuroeducación tiene que afrontar diferentes retos. El aprendizaje a nivel cerebral es complejo y requiere la utilización de metodologías científicas concretas que hacen difícil trasladar de forma exitosa la información hacia la educación. No solo para la neurociencia, sino también para la psicología. A pesar de cien años de evidencia psicológica sobre el aprendizaje y la memoria, todavía se utilizan técnicas de estudio en el aula que no tienen el respaldo de la evidencia empírica (Dunlosky *et al.*, 2013). Asimismo, es necesario entender el aprendizaje de forma global, más allá de lo estrictamente académico, ya que en la educación de la persona intervienen múltiples factores, como las características y necesidades individuales, la escuela, la familia o el contexto social (Thomas y Ansari, 2020).

2.4.1 Integración de los diferentes niveles de análisis

Para la neuroeducación constituye un gran desafío integrar las perspectivas teóricas y metodológicas diferentes que provienen de la educación y la neurociencia de una manera

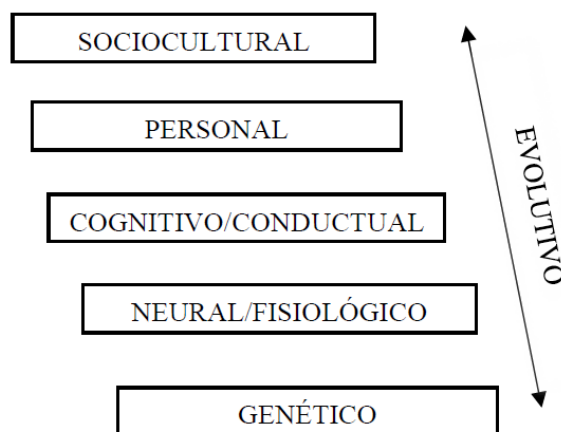
coherente. Más allá de que una parte de la comunidad educativa vea la introducción de la neurociencia en la educación como una invasión del reduccionismo biológico o que se deba afrontar la inercia académica que produce resistencia a la investigación interdisciplinaria.

El objetivo de la neurociencia es descubrir principios que describan el funcionamiento y la estructura del sistema nervioso, en general, y del cerebro, en particular, y, al hacerlo, ordenar y comprender los datos analizados. Sin embargo, el objetivo de la educación es la creación de un conjunto de estrategias y materiales pedagógicos diseñados para servir a un objetivo específico dentro de un entorno particular (Willingham, 2009). En concreto, desde la neurociencia cognitiva se estudia el cerebro a través de diferentes niveles de análisis, desde lo microscópico (procesos neurales) a lo macroscópico (capacidades cognitivas). Estos últimos niveles de análisis son los que confluyen con los estudios realizados por la investigación en educación, aunque desde la neurociencia, tradicionalmente, se han estudiado de forma aislada, utilizándose tareas bien controladas, pero relativamente artificiales. La falta de validez ecológica es una preocupación para la mayoría de los estudios de neurociencia cognitiva porque, debido a limitaciones metodológicas, a menudo no pueden realizarse en contextos de la vida real (Naumann *et al.*, 2022). No obstante, en los últimos años se han desarrollado técnicas que permiten analizar los cerebros de personas interactuando. El hiperescáner, por ejemplo, permite registrar la actividad cerebral de dos o más personas cuando se comunican entre sí. Y ya existen investigaciones concretas en el contexto del aula (Dikker *et al.*, 2017).

Traducir los hallazgos de la neurociencia cognitiva al campo de la educación conlleva entender que el "niño completo" es más que la "suma de sus partes". Los niños no pueden ni deben reducirse a un conjunto de funciones cognitivas separadas, tendencias afectivas y rasgos de personalidad, y mucho menos a una serie de predisposiciones neuronales. Existe una influencia importante del entorno cercano, incluida la familia, su clase, el maestro y la escuela, así como la sociedad y la cultura en la que crecen (Jolles y Jolles, 2021). Es importante destacar que existen interacciones bidireccionales entre todos los niveles de análisis, incluidos los genes, el cerebro, el comportamiento y el entorno social y cultural, lo que sugiere que los procesos en niveles más bajos de análisis, como los neurales, no deben verse como factores causales que impulsan el funcionamiento en niveles más altos de análisis, como los conductuales, sino como componentes de un sistema dinámico más grande (Gottlieb, 2007). Por lo tanto, el objetivo de la neuroeducación no es solo comprender los mecanismos cerebrales que subyacen al aprendizaje y la cognición, sino también estudiar cómo ocurre el aprendizaje en contextos auténticos y diseñar entornos y programas de aprendizaje basados en lo que sabemos sobre el aprendizaje. Ello requiere, a través de un enfoque transdisciplinar, integrar paradigmas de investigación provenientes de diferentes campos de investigación y distintos niveles de explicación, tanto de la educación como de las ciencias cognitivas y del cerebro, que puedan explicar cómo se produce el aprendizaje.

Según Han *et al.* (2019) estos niveles de explicación son: sociocultural, individual (experiencia personal), conductual, cognitivo, evolutivo, neuronal, fisiológico y genético (ver figura 4):

Figura 4. Niveles de análisis en neuroeducación (Han, Soylu y Anchan, 2019)



La neuroeducación hereda los niveles de análisis de las disciplinas básicas que la conforman: la neurociencia cognitiva y la educación. La neuroeducación, al igual que la neurociencia cognitiva, busca comprender cómo los mecanismos biológicos apoyan el aprendizaje y la cognición, sin embargo, también se ocupa de los aspectos fenomenológicos (personales), socioculturales y contextuales del aprendizaje, propios de la educación. Los niveles cognitivo y conductual, muy importantes en nuestra investigación, están entrelazados y se comparten entre la educación y la neurociencia, porque ambos campos se basan en teorías y hallazgos de la psicología conductual y cognitiva. Han *et al.* (2019) separan el nivel biológico en neural/fisiológico y genético, porque las preguntas formuladas y los métodos utilizados en estos dos niveles son distintos, aunque ambos se refieren a mecanismos biológicos. En cuanto al nivel evolutivo, se presenta de forma distinta porque las teorías evolutivas brindan explicaciones para una amplia gama de fenómenos, desde los mecanismos celulares hasta el comportamiento social humano, pasando por todos los demás niveles. Muchas de las habilidades cognitivas humanas (por ejemplo, la lectura o las matemáticas; ver apartado 2.2.5) han adquirido su forma actual ya que los sistemas biológicos que respaldan estas habilidades evolucionaron para respaldar otras funciones a través del ya mencionado reciclaje neuronal (Anderson, 2010).

El gran reto del futuro reside en afrontar los grandes problemas y cuestiones del campo de la educación investigando desde los diferentes niveles de análisis y creando sinergias entre diferentes tipos de estudios, tanto en el laboratorio, como en el aula. Las redes académicas transdisciplinarias en las que las universidades realizan colaboraciones formales con centros educativos serán necesarias. Y también los cursos de formación para el profesorado que les

permita combatir los neuromitos tan arraigados en la educación, conocer las evidencias que justifican las buenas prácticas educativas y entender las causas por las que lo hacen para poder tomar buenas decisiones pedagógicas (Dehaene, 2019). Sin olvidar la necesaria presencia de la figura del neuroeducador que, en palabras de Mora (2022; p. 89) “debería ser un profesional central en el colegio, que desde el seno y en constante interacción con los maestros, que son quienes viven la enseñanza y la educación de forma directa en las aulas, pudiese, junto a ellos y con otros profesionales, diseñar, ayudar o colaborar en nuevos estudios conducentes a mejorar y avanzar en el conocimiento de ese acoplamiento entre la ciencia, la neurociencia y la educación”. Esa es la esencia del acercamiento de la ciencia a la educación. La neurociencia es solo una pieza del complicado rompecabezas del aprendizaje y la educación que complementa (no sustituye) la tarea del educador y le puede ayudar a crear las condiciones óptimas para el desarrollo del talento de todos los estudiantes.

2.4.2 Tipos de ensayos

Como campo traslacional, algunos autores sugieren que la neuroeducación podría ser como la medicina, un campo en el que se transfiere la ciencia básica en el laboratorio a la práctica clínica con los pacientes, en donde el descubrimiento de nuevos fármacos ayuda a mejorar la salud humana (Roediger, 2013). Estas investigaciones suelen utilizar pruebas controladas aleatorizadas que tienen como objetivo probar hipótesis relacionadas con la efectividad de una intervención. Ya hace años que este tipo de pruebas están siendo utilizadas en investigaciones neuroeducativas. Por ejemplo, en escuelas del Reino Unido en 2014, la Education Endowment Foundation las utilizó en seis proyectos que tenían como objetivo desarrollar intervenciones basadas en la evidencia para su uso en el aula promoviendo la cooperación entre educadores y neurocientíficos (Howard-Jones, 2014b). Estos proyectos analizaron los patrones del sueño en la adolescencia, los efectos de la actividad cardiovascular en el rendimiento académico, el impacto de un entrenamiento del control inhibitorio sobre el aprendizaje de las matemáticas y la ciencia, la efectividad de la práctica espaciada, los efectos de la recompensa incierta en el contexto de la ciencia y un programa de ordenador diseñado para la mejora del desempeño lector.

Esta forma de diseño es necesaria, tal como demuestra una reciente revisión en la que se analizan metodologías para evaluar intervenciones conductuales para la mejora cognitiva (Green *et al.*, 2019), y presenta oportunidades para la recopilación de datos que abarcan múltiples niveles. Mientras que las etapas previas y posteriores a la prueba pueden incluir tareas tradicionales de comportamiento (e incluso de neuroimagen), la etapa de intervención puede incluir tareas auténticas. Los datos recogidos durante la etapa de intervención también pueden capturar los aspectos socioculturales y en primera persona del proceso de aprendizaje. E, incluso, los estudios sugieren que es factible que este tipo de pruebas las realicen los propios docentes con una orientación externa limitada (Gorard, See y Siddiqui, 2020). Esto es lo que hicimos en nuestra

investigación para garantizar la mayor integración posible de la intervención en la jornada escolar diaria.

Según Thomas *et al.* (2019), la posible desventaja es que las nuevas tareas o técnicas de aprendizaje derivadas de las pruebas controladas aleatorizadas serán de naturaleza prescriptiva para los educadores, por lo que podrían socavar su autonomía en el aula.

2.4.3 Cuestiones éticas

Finalmente, la neuroeducación tiene que abordar las cuestiones éticas. La ética de la neuroeducación (o neuroética educativa; Lalancette y Campbell, 2012) conlleva un diálogo continuo entre investigadores, educadores y especialistas en ética sobre los principios y la práctica de la investigación en neuroeducación.

Existen dos ramas importantes de la neuroética educativa (Knowland, 2020). La primera se encarga de responder a problemas específicos que surgen durante el desarrollo diario de un proyecto de investigación. Muchas de las cuestiones éticas encontradas durante las investigaciones en neuroeducación también se dan en otras disciplinas, como la genética, la psicología del desarrollo o la neurociencia cognitiva, aunque con matices diferenciadores propios de la investigación (Howard-Jones y Fenton, 2012). Por ejemplo, obtener el consentimiento informado de todas las partes involucradas en estudios de intervención escolar a gran escala o tratar los hallazgos incidentales relevantes de las evaluaciones cognitivas desde el punto de vista educativo. Estos problemas deben abordarse adecuadamente a la vez que se garantiza que la investigación siga siendo viable en la práctica. En realidad, gran parte de la investigación neuroeducativa se ocupa de pequeños cambios en las tareas del aula o en el estilo de vida de los participantes en las intervenciones, en donde las cuestiones éticas prácticas son relativamente poco controvertidas. La segunda rama de la neuroética educativa se encarga de guiar el proceso de la investigación: qué está tratando de lograr la neuroeducación, qué temas de estudio se consideran útiles y válidos, y cómo el campo puede afectar a los niños, los maestros, los padres, y, en última instancia, a la sociedad, en general.

Evidentemente, la neuroeducación pretende la mejora de las habilidades de los estudiantes, sean estas cognitivas o no, un objetivo compartido con la educación. Pero, tal como ocurre en nuestra investigación, los participantes no son adultos, sino niñas y niños. Ello requiere una aplicación de los principios éticos más estricta. Por ejemplo, surgen problemas éticos en el uso de medidas predictivas de los resultados educativos que pueden conllevar implicaciones de por vida para el niño, pero que requieren el consentimiento de la madre, el padre o el adulto responsable de su cuidado.

IDEAS CLAVE

- La neuroeducación constituye un campo de investigación transdisciplinar que tiene como objetivo mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje a partir de los conocimientos científicos sobre el funcionamiento y desarrollo del cerebro. No solo considera a la neurociencia.
- La neuroeducación suministra evidencias empíricas sobre las prácticas educativas más adecuadas justificando su buen funcionamiento.
- La interpretación de la información que proviene de la investigación científica requiere un análisis crítico y profundo para evitar caer en neuromitos y falsas creencias. El proceso formativo de los docentes en la temática es importante.
- Se han realizado investigaciones en el campo de la neuroeducación que tienen una repercusión directa en el aprendizaje y desarrollo en la infancia. Estudios sobre el proceso de maduración del cerebro y sus diferentes regiones, las emociones, la atención, la memoria, el sueño, la alimentación..., incluso sobre cuestiones académicas concretas, como la competencia lectora o la matemática.
- La neurociencia puede informar a la educación a través de una ruta directa, que puede pensarse en términos de salud cerebral, pero también a través de una ruta indirecta con la que da forma a la teoría psicológica.
- Trasladar los hallazgos de la neurociencia cognitiva al campo de la educación conlleva entender que el "niño completo" es más que la "suma de sus partes". Los niños no pueden ni deben reducirse a un conjunto de funciones cognitivas separadas, tendencias afectivas y rasgos de personalidad, y mucho menos a una serie de predisposiciones neuronales.

CAPÍTULO 3.

Las funciones ejecutivas

Capítulo 3. Las funciones ejecutivas

3.1 Contextualización

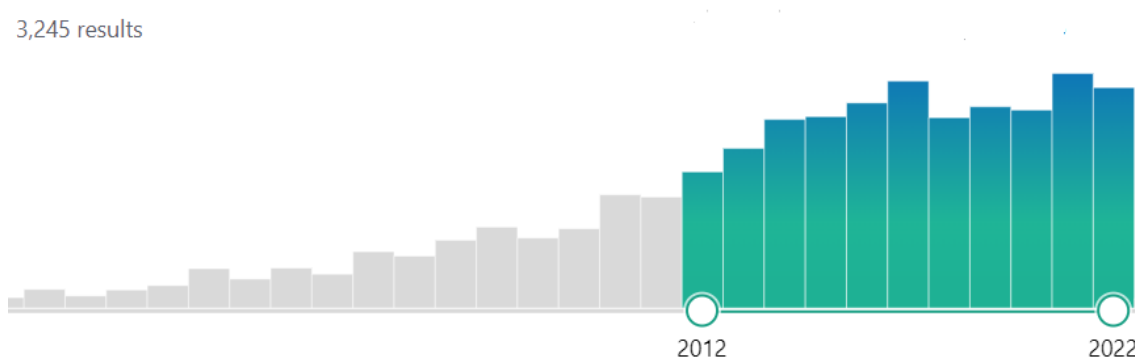
En el ámbito de la neurociencia, las **funciones ejecutivas** se consideran un conjunto de habilidades cognitivas necesarias para el control consciente y voluntario de pensamientos, emociones y acciones. Son procesos mentales proactivos (de arriba abajo, o, en inglés, *top-down*⁴) que nos permiten prestar atención y estar centrados en las tareas, razonar y resolver problemas, ejercitar el autocontrol para evitar ser impulsivos o reaccionar sin pensar, ver las cosas desde diferentes perspectivas, ajustarnos de forma flexible a lo novedoso, ver la relación entre diferentes ideas o hechos y reflexionar sobre el pasado y visualizar alternativas futuras (Cristofori, Cohen-Zimmerman y Grafman, 2019; Diamond, 2020; Miller y Cohen, 2001; Zelazo, 2020). Las funciones ejecutivas, al ser voluntarias, requieren esfuerzo, sea para manipular mentalmente números o ideas, para no caer en la tentación ante situaciones inadecuadas o para cambiar algo que hacemos de forma reiterada.

El término “funciones ejecutivas” es relativamente reciente. Surgió de las observaciones de pacientes con daños en la corteza prefrontal que, aunque a menudo manifestaban habilidades cognitivas intactas (como la memoria o el lenguaje, por ejemplo), tenían una gran dificultad para regular esas habilidades básicas hacia un objetivo autodirigido según las necesidades del contexto (Luria, 1974, 2012). Luria estableció una jerarquía en la estructura y funcionamiento del cerebro situando a la corteza prefrontal en lo más alto de la misma, ejerciendo un control hacia otras regiones cerebrales (de arriba abajo) y, a su vez, siendo influenciada por estas regiones. Estudios posteriores confirmaron el modelo jerárquico de Luria, identificándose, además, una jerarquía en subregiones de la corteza prefrontal (orbitofrontal, ventrolateral-dorsolateral y rostrolateral, básicamente) involucradas en diferentes funciones y en la representación de reglas con distintos niveles de complejidad y abstracción (Bunge y Zelazo, 2006; Badre y D’Esposito, 2007). Como muestra de la gran interconectividad de la corteza prefrontal, sus subregiones son parte de redes más complejas que también involucran a otras áreas cerebrales, como la corteza parietal o partes del sistema límbico, como el cuerpo estriado, la amígdala y el hipocampo (Zelazo y Carlson, 2020).

⁴ *La influencia de la corteza prefrontal sobre otras regiones se considera, en términos cognitivos, control top-down (o control proactivo). Son procesos voluntarios, dirigidos de forma endógena, es decir, en función de nuestras expectativas o metas establecidas. Por otra parte, las influencias de regiones subcorticales sobre la corteza se denominan bottom-up (o control reactivo). Son procesos automáticos, dirigidos por estímulos externos (Buschman y Miller, 2007).*

Los educadores e investigadores han mostrado un gran interés en las funciones ejecutivas en los últimos años. Una búsqueda en la base de datos de PubMed a día de 28-12-2022 con las palabras “executive functions” para los últimos diez años reveló 33019 resultados, de los cuales 3245 correspondían a artículos revisados por pares (ver figura 5). Si la búsqueda se limitaba al último año, los resultados correspondían a 4084 y las pruebas revisadas a 395.

Figura 5. Artículos revisados por pares en PubMed que contienen la palabra “executive functions” entre el 2012 y el 2022



Junto a esto, existe una amplia evidencia sobre la importancia de las funciones ejecutivas en una gran variedad de dominios relacionados con la educación, como en el caso de la comprensión lectora (Follmer, 2018), el aprendizaje de las matemáticas (Clements, Sarama y Germeroth, 2016), la metacognición (Roebbers, 2017), la disminución de síntomas del TDAH (Klingberg *et al.*, 2005) o el rendimiento académico, tanto en la etapa de educación infantil (Blair y Razza, 2007; McClelland *et al.*, 2014), como en la de Primaria y Secundaria (Best, Miller y Naglieri, 2011). En concreto, las funciones ejecutivas en la infancia están asociadas a un mejor desempeño en la escuela y en la vida años más tarde y es un mayor predictor de estos resultados que el cociente intelectual o el estatus socioeconómico (Moffitt *et al.*, 2011).

Asimismo, se han identificado una gran variedad de situaciones cotidianas en las que las funciones ejecutivas tienen una gran relevancia (ver tabla 3).

Tabla 3. Impacto de las funciones ejecutivas en situaciones cotidianas (Cristofori, Cohen-Zimmerman y Grafman, 2019; Diamond, 2013)

Aspectos de la vida	Formas en las que las funciones ejecutivas son relevantes
Salud mental	Existe alteración del funcionamiento de las funciones ejecutivas en muchos trastornos, incluyendo: -Adicciones -TDAH -Trastornos de conducta -Depresión Trastorno compulsivo obsesivo -Esquizofrenia
Salud física	Un mal funcionamiento ejecutivo está asociado con obesidad, gula, abuso de sustancias y mala adherencia al tratamiento
Calidad de vida	Las personas con mejor funcionamiento ejecutivo disfrutan de una mejor calidad de vida
Preparación escolar	Las funciones ejecutivas son más importantes que el cociente intelectual al inicio de la escolarización en lectura y matemáticas
Éxito escolar	Las funciones ejecutivas predicen la competencia matemática y la lectora a lo largo de los años escolares
Éxito laboral	Un mal funcionamiento ejecutivo conlleva una peor productividad y mayor dificultad para encontrar y conservar un empleo
Armonía conyugal	Un compañero con peores funciones ejecutivas dificulta la relación y tiene mayor probabilidad de actuar de forma impulsiva
Seguridad pública	Un mal funcionamiento ejecutivo conlleva problemas sociales (incluyendo delitos, conductas temerarias, violencia y arrebatos emocionales)

A pesar de la importante cantidad de estudios que se han publicado en los últimos años, en la actualidad no existe una definición universal de funciones ejecutivas y no se ha alcanzado un consenso en lo referente a cuáles son, debido especialmente a la diversidad de medidas en la evaluación del funcionamiento ejecutivo que hacen intervenir a muchas habilidades y procesos distintos (Bagetta y Alexander, 2016). Es lo que se conoce como problema de la **impureza de las tareas**. Existen diversos factores que contribuyen a las diferencias individuales en el rendimiento de las personas en cualquier tarea de evaluación de las funciones ejecutivas, tanto factores externos (horas de sueño antes de la realización de la tarea, por ejemplo), como aspectos propios de la tarea (participación de habilidades no ejecutivas, como las motoras o visuoespaciales en una tarea ejecutiva de inhibición de impulsos, por ejemplo). Y aunque la tarea tenga aspectos propios de la función ejecutiva que se quiere evaluar, también puede tener aspectos comunes con otras funciones ejecutivas (Snyder, Miyake y Hankin, 2015).

En la práctica, este problema puede afrontarse mediante el enfoque de la variable latente (Friedman y Miyake, 2004; Miyake *et al.*, 2000), en el que se identifica la varianza común entre diferentes medidas (sin incluir errores de medidas aleatorias y las incidencias de habilidades no ejecutivas), es decir, se compara el desempeño en múltiples tareas que compartan la función ejecutiva que se quiere evaluar extrayendo los aspectos comunes (variables latentes). Asumiendo que ninguna tarea es pura y que sabemos qué tareas implican lo que queremos medir, lo cual no siempre es sencillo. Este enfoque que utiliza un análisis estadístico factorial confirmatorio ha permitido extraer patrones generales consistentes en lo referente a las particularidades de las funciones ejecutivas. El factor común subyacente a las tareas evaluadas será una medida más pura del proceso ejecutivo analizado que si se evalúan las tareas por separado.

Un importante estudio (Miyake *et al.*, 2000) aplicó este enfoque de múltiples medidas para identificar las diferencias entre las tres funciones ejecutivas postuladas: actualización, inhibición y alternancia (están directamente vinculadas a la memoria de trabajo, control inhibitorio y flexibilidad cognitiva, respectivamente; ver apartado 3.2). Por una parte, los resultados demostraron que el desempeño de los participantes en las tareas podía explicarse, parcialmente, en términos de cada una de las funciones. Por ejemplo, el desempeño en una tarea de inhibición (por ejemplo, la tarea de Stroop) estaba más relacionado con el desempeño en otras tareas distintas de inhibición (por ejemplo, tareas *Go-NoGo* y tareas con señal *Stop*) que no en una de memoria de trabajo (tareas de *span*). Y, por otra parte, también hubo un componente general que predijo el rendimiento en todas las tareas, independientemente de la función ejecutiva específica evaluada. Por lo tanto, un buen desempeño en una tarea correlacionaba, parcialmente, con un buen desempeño en el resto de tareas ejecutivas. Estos resultados, hasta cierto punto paradójicos, sugirieron que es importante reconocer tanto la unidad como la diversidad de las funciones ejecutivas, es decir, que las funciones ejecutivas no son funciones completamente dissociables que operan como órganos separados (como en el caso del corazón y el hígado en el cuerpo humano, por ejemplo), sino que es probable que haya algunos aspectos generales del funcionamiento cerebral que afecten a todo el desempeño ejecutivo y haya sistemas o factores que contribuyan al desempeño en dominios específicos del funcionamiento ejecutivo (Badre, 2020; Friedman y Miyake, 2017).

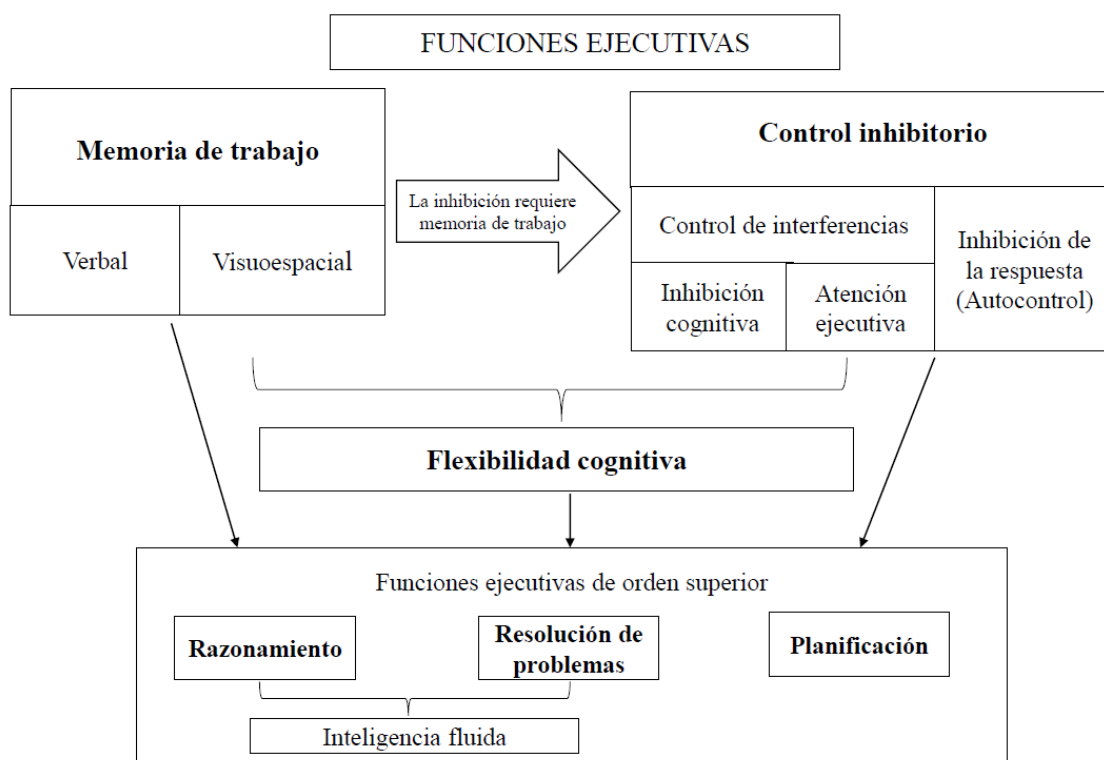
3.2 Tipos de funciones ejecutivas

3.2.1 Funciones ejecutivas básicas

Tomando como referencia el modelo de Miyake (Miyake *et al.*, 2000) que considera las funciones ejecutivas como un constructo unitario con componentes parcialmente dissociables, modelo

ampliamente replicado en estudios posteriores (incluidos los que utilizan neuroimágenes; ver Zhang *et al.*, 2021), consideramos la memoria de trabajo, el control inhibitorio y la flexibilidad cognitiva, con sus correspondientes subcomponentes, como las tres **funciones ejecutivas básicas** (ver figura 6).

Figura 6. Clasificación de las funciones ejecutivas (Diamond, 2013)



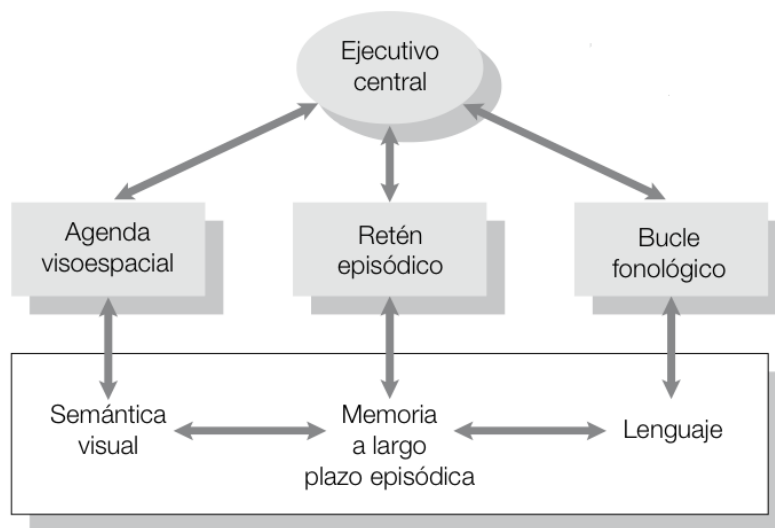
La **memoria de trabajo** constituye un sistema limitado de almacenamiento y manipulación temporal de la información bajo control de la atención que facilita los procesos cognitivos al proporcionar una interfaz entre la percepción, la memoria a largo plazo y la acción (Baddeley, 2003; Smith y Jonides, 1999). Esta capacidad para manipular mentalmente la información y, así, ejecutar una tarea o resolver un problema es lo que diferencia a la memoria de trabajo de la memoria a corto plazo (Fuster, 2015).

La memoria de trabajo es imprescindible en el contexto del aula porque permite realizar tareas que son importantes como mantener una conversación, leer o realizar cálculos mentales. Y facilita la planificación, la comprensión, el razonamiento y la resolución de problemas (Cowan, 2014; Gathercole, Lamont y Alloway, 2006). Todo ello tiene un gran impacto en el aprendizaje y el desarrollo, especialmente en la infancia (Forsberg, Adams y Cowan, 2021). La capacidad de la memoria de trabajo está limitada a unos pocos ítems (Cowan, 2010) que varían con la edad (Cowan, 2016) y dependen de la persona (Jarrold y Towse, 2006). Una forma eficiente de

combatir la carga de la memoria de trabajo es mediante la agrupación adecuada de ítems a través de unidades interrelacionadas (*chunks*) que pueden ser perceptuales, conceptuales, lingüísticos o espaciales, tanto en la adultez como en la infancia temprana (Feigenson y Halberda, 2008).

Se han identificado dos componentes básicos de la memoria de trabajo, uno verbal y otro visuoespacial (Alloway, Gathercole y Pickering, 2006). Por ejemplo, en el modelo multicomponente de Baddeley, ampliamente aceptado, existe el *bucle fonológico* que está especializado en mantener secuencias de elementos acústicos o relacionados con el habla, mientras que la *agenda visoespacial* es un sistema que desempeña una función similar con elementos y secuencias codificadas visual y/o espacialmente. Todo ello controlado por un *ejecutivo central*, un sistema que actúa como un controlador que gestiona toda la actividad y un *búfer episódico* que permite interactuar a los diferentes subcomponentes de la memoria de trabajo con la memoria a largo plazo (Baddeley, 2012; ver figura 7).

Figura 7. Modelo multicomponente de Baddeley de la memoria de trabajo (Baddeley, 2020)



El **control inhibitorio** es la habilidad que nos permite centrar la atención y controlar el comportamiento, los pensamientos y/o las acciones para retener las respuestas impulsivas y poder actuar de forma apropiada (Diamond, 2013). El control inhibitorio nos permite cambiar, ser flexibles y elegir la forma de comportarnos, en lugar de dejarnos arrastrar por los impulsos y hábitos inadecuados o ceder a estímulos externos que pueden perjudicarnos.

Los estudios revelan que el control inhibitorio tiene varios componentes. Por una parte, el autocontrol constituye el componente conductual o de **inhibición de la respuesta** y, por otra, existe un **control de las interferencias** que puede ser atencional o cognitivo (Friedman y Miyake, 2004; Diamond y Ling, 2020). Estos componentes del control inhibitorio se han identificado también en la infancia temprana (Gandolfi *et al.*, 2014).

El **autocontrol** nos permite resistir las tentaciones reprimiendo un primer impulso o una respuesta dominante. Las tentaciones pueden ser variadas. Por ejemplo, en el contexto social, comer dulces cuando estás siguiendo una dieta para perder peso, engañar al compañero de trabajo para mejorar el puesto laboral, etc. Y en el ámbito escolar, quitarle el juguete a otro niño, golpear al compañero que te molestó, etc. Ello requiere parar y reflexionar antes de actuar, es decir, lo opuesto a actuar impulsivamente. Y requiere también la disciplina necesaria para estar centrados y acabar lo que iniciamos resistiendo las tentaciones y aplazando la recompensa, aunque esté lejana en el tiempo. El control de las interferencias puede conllevar una inhibición atencional, permitiéndonos estar centrados de forma consciente en una tarea inhibiendo estímulos irrelevantes o distractores externos. Es lo que se conoce como **atención ejecutiva** (Petersen y Posner, 2012), y tiene un vínculo directo con la memoria de trabajo (Gazzaley y Nobre, 2012) porque requiere focalizarse en la información que se está procesando mentalmente. Pensemos, por ejemplo, en el estudiante que está centrado en la explicación del docente a pesar de que el compañero le está cuchicheando. En un artículo de revisión, Reynolds y Romano (2016) encontraron que la memoria de trabajo y la atención ejecutiva comparten muchos sistemas neurales, principalmente de la corteza prefrontal.

El control de las interferencias también puede conllevar una **inhibición cognitiva** en la que intervienen distractores internos, como cuando queremos olvidar pensamientos o recuerdos no deseados, o nos resistimos a divagar (Keulers y Jonkman, 2019). En estos casos intervienen mecanismos neuronales similares a los que utilizamos para contener las respuestas motoras (Anderson y Levy, 2009).

La tercera función ejecutiva básica es la **flexibilidad cognitiva**, la capacidad de cambiar o actualizar las estrategias mentales que estamos utilizando para realizar tareas o en respuesta a los cambios del entorno (Badre y Wagner, 2006). En unos casos se manifiesta a través de un cambio de perspectiva, como cuando el docente deja de centrarse en los defectos de su alumnado y se focaliza en sus virtudes. Y en otros casos la flexibilidad cognitiva está asociada al cambio de la forma de pensar sobre una cuestión o problema concreto, lo cual requiere **creatividad** (Diamond, 2013). Por ejemplo, cuando intentamos resolver un problema de forma original porque el procedimiento tradicional nos impide alcanzar la solución. Ello requiere adaptación a lo novedoso.

3.2.2 Otras funciones cognitivas

Las tres funciones ejecutivas básicas posibilitan **funciones ejecutivas de orden superior** como el **razonamiento**, la **resolución de problemas** y la **planificación** que permiten las acciones necesarias para alcanzar una meta específica (Diamond, 2013; Kennedy *et al.*, 2008).

Las dos primeras constituyen lo que se conoce como **inteligencia fluida**, definida como los procesos de razonamiento general utilizados para resolver problemas novedosos sin utilizar los conocimientos previos adquiridos (Colom, 2020). Los test psicométricos han identificado el vínculo directo entre la inteligencia fluida y las funciones ejecutivas, en concreto la memoria de trabajo (Conway, Kane y Engle, 2003). Y algo parecido ocurre en los estudios que han analizado los sustratos neuronales subyacentes que intervienen en las pruebas de evaluación específicas de cada una de las funciones ejecutivas básicas. En un metaanálisis reciente se ha identificado un grado de similitud en los patrones de activación cerebral en las resonancias magnéticas funcionales analizadas del 80 %, entre la inteligencia fluida y la memoria de trabajo, del 34 % para el control inhibitorio y del 17 % para la flexibilidad cognitiva (Santarnecci *et al.*, 2021). En esta revisión se han identificado tres regiones cerebrales que forman parte de una red frontoparietal lateralizada izquierda que se activan tanto para la inteligencia fluida como para las tres funciones ejecutivas básicas: la corteza prefrontal dorsolateral izquierda, el lóbulo parietal inferior izquierdo y la corteza cingulada anterior izquierda. En un estudio también reciente con participantes adultos se identificó un patrón de activación concreto en las tareas para las tres funciones ejecutivas básicas: la memoria de trabajo estuvo más asociada a la actividad de la corteza prefrontal dorsolateral, la corteza parietal lateral y la ínsula; el control inhibitorio activó más la corteza prefrontal medial superior y la lateral derecha, la corteza parietal inferior, los lóbulos parietales inferiores y la corteza temporal inferior y la medial derecha; y la flexibilidad cognitiva estuvo más asociada a la actividad bilateral de la corteza prefrontal medial, la corteza cingulada posterior y el precúneo, así como el lóbulo parietal inferior izquierdo, la corteza temporal lateral y el tálamo derecho (Lemire-Rodger *et al.*, 2019). Todo ello demuestra la gran conectividad de la corteza prefrontal con el resto del cerebro.

Las funciones ejecutivas y los correlatos neurales que las sustentan se ven afectados por las condiciones emocionales y motivacionales del contexto en el que se evalúan. Por ello, las funciones ejecutivas también se clasifican en calientes o frías, estando asociado el término *caliente* a las situaciones de mayor impacto emocional, mientras que el término *frío* se asocia a contextos emocionales neutros (Zelazo y Carlson, 2012). Las **funciones ejecutivas calientes** hacen participar más a regiones ventrales y mediales de la corteza prefrontal y a rutas que activan el sistema mesolímbico de la recompensa, incluyendo la amígdala y el estriado, que intervienen en el procesamiento emocional y motivacional (Salehinejad *et al.* 2021). Es el caso de tareas que requieren un aplazamiento de la recompensa o una regulación emocional intencionada. Por el contrario, las **funciones ejecutivas frías** activan más áreas de la corteza prefrontal lateral, como en el caso de la mayoría de las tareas de laboratorio utilizadas para evaluar el control inhibitorio, la memoria de trabajo o la flexibilidad cognitiva, que se realizan en entornos más

descontextualizados (Zelazo, 2015). Las funciones ejecutivas frías predicen el rendimiento académico de los estudiantes, mientras que las funciones ejecutivas calientes predicen problemas conductuales en la infancia (Kim *et al.*, 2013).

Un constructo directamente relacionado con las funciones ejecutivas es el de **autorregulación**, que suele definirse como un conjunto de comportamientos voluntarios que nos permiten controlar y regular la atención, pensamientos, emociones y acciones (McClelland y Cameron, 2012). Según Nigg (2017), la autorregulación tiene componentes de arriba a abajo (deliberados o top-down), pero también de abajo a arriba (automáticos, reactivos o bottom-up) que interaccionan entre ellos. Esa sería una diferencia clave porque las funciones ejecutivas son voluntarias y actúan ante situaciones novedosas. Desde esa perspectiva, las funciones ejecutivas posibilitarían la autorregulación, un constructo más amplio que también depende de los sistemas motivacionales. Por otra parte, Barkley (2012) afirma que cada componente de las funciones ejecutivas es un tipo específico de autorregulación, mientras Diamond (2013) también diferencia los dos constructos. Según esta autora, la autorregulación regula las emociones por lo que abarcaría al control inhibitorio. No obstante, según el dominio científico se utiliza más un término que otro, mencionándose más las funciones ejecutivas en las publicaciones de las ciencias cognitivas y más la autorregulación en psicología del desarrollo y ciencias sociales (Sankalaite *et al.*, 2021). En la práctica, la utilización de definiciones distintas para procesos cognitivos similares dificulta mucho la comunicación adecuada entre los investigadores y los educadores.

Tampoco existe consenso respecto a la relación entre las funciones ejecutivas y la atención. Sin embargo, la gran mayoría de modelos actuales considera a la atención (en concreto, la atención ejecutiva) como un mecanismo esencial para el funcionamiento ejecutivo (Rueda, 2021). Sin atención no es posible ejercer un control del comportamiento consciente ajustado a metas, a no ser que se produzcan regularidades en el ambiente que permitan establecer respuestas automatizadas que escapen al control de la atención.

3.3 Desarrollo de las funciones ejecutivas

La corteza prefrontal es la región del cerebro que apareció más tarde en el proceso evolutivo de nuestra especie (filogenia) y la región que tarda más en madurar durante el proceso evolutivo de la persona (ontogenia). Esta región cerebral que nos diferencia a los humanos de otras especies alcanza su óptimo desarrollo a nivel neural, en cuanto a sinaptogénesis, mielinización y conexión con otras áreas del cerebro, en la adultez, entre los 20 y 30 años (Fuster, 2015; Gogtay *et al.*, 2004). Asimismo, las diferentes subregiones de la corteza prefrontal tienen ritmos madurativos distintos. Por ejemplo, la corteza prefrontal dorsolateral, que se activa mucho en tareas de memoria de trabajo y que, en general, está asociada a las funciones ejecutivas frías, es la que tarda

más en madurar (Schlaggar *et al.*, 2002). Más, por ejemplo, que la corteza prefrontal ventromedial, región que está muy conectada con el sistema límbico y que, como consecuencia de ello, se activa más ante situaciones de mayor contenido emocional, por lo que está vinculada a las funciones ejecutivas calientes (Peterson y Welsh, 2014).

De forma similar, las funciones ejecutivas van desarrollándose gradualmente hasta alcanzar su madurez en la adultez, con fases de grandes mejoras en la infancia y en la transición a la adolescencia que están directamente ligadas al proceso de desarrollo cerebral, en especial el de la corteza prefrontal (Casey *et al.*, 2005). De ahí la importancia de las etapas de transición educativa, como el inicio de la educación formal o el paso de Primaria a Secundaria, que plantean nuevas demandas en el funcionamiento ejecutivo de los niños y adolescentes. En promedio, en la infancia y en la vejez se dan peores resultados en tareas ejecutivas que en la primera etapa de la adultez (Ferguson, Brunson y Bradford, 2021).

En los últimos años se han realizado grandes avances en la comprensión del desarrollo de las funciones ejecutivas en la infancia. En concreto, los primeros cinco años de vida son fundamentales permitiendo a los niños controlar respuestas automatizadas y, como consecuencia de ello, favoreciendo las conductas adaptativas dirigidas a metas. Entre los 3 y los 5 años, aproximadamente, el desarrollo de la atención y la integración de los diferentes componentes de las funciones ejecutivas constituyen los dos procesos clave en su maduración de (Garon, Bryson y Smith, 2008).

El desarrollo prolongado de la corteza prefrontal hace que la influencia genética sea menor que la de otras regiones y que sea mayor el impacto de las condiciones ambientales. De ahí la importancia del contexto social (relaciones seguras, por ejemplo) y cultural (lenguaje y juego, por ejemplo) en el desarrollo de las funciones ejecutivas (Happaney y Zelazo, 2022). Pero, a la vez, aunque las funciones ejecutivas sean sensibles a las influencias ambientales durante toda la vida, serán especialmente vulnerables en la infancia al estrés, la pobreza, la crianza inadecuada..., debido a la gran neuroplasticidad existente en esa etapa inicial de la vida. Ello tiene un gran impacto en el funcionamiento ejecutivo en la etapa adulta (Evans, Farah y Hackman, 2021).

Aunque el funcionamiento ejecutivo sea más eficiente en la adultez, las funciones ejecutivas comienzan a emerger de forma parcial en la infancia temprana, algunas en el primer año de vida y otras a partir de la etapa preescolar. Los primeros signos de lo que actualmente conocemos como funciones ejecutivas ya los identificó Piaget en bebés de entre 8 y 12 meses de edad en lo que llamó permanencia del objeto. Una forma de evaluarla consiste en ocultar un objeto y hacer que el bebé lo busque después de un tiempo en una de dos ubicaciones posibles (The A not B task; Diamond y Goldman-Rakic, 1989). En los primeros meses de edad, el bebé no es capaz de reconocer la permanencia del objeto y así, por ejemplo, cuando se le esconde un juguete debajo

de un paño, cree que desaparece al no estar a la vista. En cambio, a partir de los 8 meses, aproximadamente, si un objeto de su interés se oculta, el bebé lo buscará. Ello implica que tiene una representación mental de ese objeto, lo cual constituye una de las primeras manifestaciones de la memoria de trabajo, pero también de planificación y de control inhibitorio porque requiere inhibir la respuesta motora que en el ensayo anterior le suministró la respuesta correcta en la tarea, es decir, los bebés detectan errores y son capaces de inhibir el conocimiento previamente adquirido (Paterson *et al.*, 2006). A partir de este momento, las representaciones mentales del bebé ya le permitirán guiar su conducta. Piaget creía que los bebés desarrollaban un concepto de lo que son los objetos en el segundo semestre de edad. Sin embargo, lo que parece que ocurre es que desarrollan la habilidad para demostrar la comprensión de las propiedades específicas de los objetos, lo cual depende del proceso gradual de maduración de la corteza frontal (Diamond, 1991). El análisis de los ojos de los bebés demuestra que los bebés tienen una noción clara de donde está el objeto oculto con pocos meses de edad. Sin embargo, les es difícil resolver el conflicto cognitivo planteado: la respuesta automatizada aprendida en los ensayos anteriores les lleva a buscar en una ubicación, mientras que la información manipulada en su memoria de trabajo le indica que han de buscar en la otra ubicación (Diamond y Doar, 1989).

En lo referente a los procesos atencionales, los estudios con bebés sugieren que las redes neurales del sistema de atención ejecutiva están activas de forma parcial en etapas muy tempranas. En una investigación en el que se estudió los movimientos oculares de bebés de 7 meses cuando se les mostraba estímulos atractivos en una secuencia fija de lugares sobre una pantalla, se comprobó que mayormente los bebés movían los ojos hacia el estímulo. Pero en otras ocasiones movían los ojos hacia el lugar en el que iba a aparecer el estímulo antes de que lo hiciera. Estos movimientos anticipatorios de respuesta voluntaria serían característicos de la atención ejecutiva (Sheese *et al.*, 2008).

La transición de los 3 a los 5 años constituye una etapa de grandes mejoras en el control inhibitorio y en la flexibilidad cognitiva que se manifiestan en la cognición social (*teoría de la mente* y desarrollo moral) y en una gran variedad de tareas cognitivas como la tarea DCCS o la tarea Stroop día-noche (Diamond, 2020). En lo referente a la cognición social, los niños son capaces de entender falsas creencias y engaños entre los 3 y los 5 años. Los estudios con neuroimágenes demuestran que la *teoría de la mente* surge en los niños aproximadamente al mismo tiempo que adquieren una metacognición explícita, procesos que comparten correlatos neurales (Vaccaro y Fleming, 2018)

Asimismo, los niños entre los 2 y los 4 años de edad manifiestan grandes déficits en la planificación. Muestran un control inhibitorio reactivo que les permite inhibir la respuesta cuando la situación lo exige en ese momento, pero no ejercen un control inhibitorio proactivo que les

permita preparar una demanda futura. Por ejemplo, un niño de 4 años puede interrumpir una actividad en curso para ponerse un impermeable si se está mojando, mientras que un niño de 6 años puede buscar proactivamente el impermeable para ponérselo antes de salir al exterior. Esta proactividad en el control inhibitorio se inicia entre los 5 y los 6 años de edad (Doebel *et al.*, 2017).

En una revisión reciente, se ha identificado que el rango de edad entre los 4 y los 6 años es importante para el control inhibitorio, con una mejora en la precisión de las tareas en las que interviene y una mayor localización cerebral, mientras que a los 4 años se visualiza un cambio importante en la memoria de trabajo, mejorando de forma continuada la velocidad y la precisión de manipulación de la información en tareas en las que interviene (Caffarena y Rojas-Barahona, 2019). Complementando lo anterior, en estudios en los que se han utilizado la tarea de flancos (ver apartado 3.4.2) se ha identificado un crecimiento estable de la atención ejecutiva entre los 4 y los 7 años edad que está asociado al desarrollo de las regiones cerebrales que intervienen en esa red, principalmente la corteza prefrontal y la corteza cingulada anterior (Rueda *et al.*, 2004a; Rueda *et al.*, 2005).

3.4 Evaluación de las funciones ejecutivas

Durante la mayor parte del siglo XX, las evaluaciones neuropsicológicas de las llamadas funciones del lóbulo frontal, predecesoras del actual constructo de las funciones ejecutivas, se limitaron a los adultos, debido a que se creía que el desarrollo del lóbulo frontal en la infancia era limitado. Sin embargo, el conocimiento en los últimos años sobre el proceso prolongado de desarrollo del lóbulo frontal, desde la infancia hasta la adultez, ha sido fundamental en el estudio y evaluación de las funciones ejecutivas en la infancia y la adolescencia (Hughes, 2011).

Al igual que ocurriera con los estudios predecesores con adultos, las investigaciones iniciales en la infancia se centraron principalmente en poblaciones clínicas y en el análisis de las disfunciones neurológicas asociadas al lóbulo frontal. Actualmente, el estudio de las funciones ejecutivas se considera básico en el desarrollo cognitivo y constituye una variable de diferencias individuales que contribuye al éxito social y académico. Todo ello ha suscitado en los últimos años interrogantes sobre la forma de evaluar las funciones ejecutivas, identificándose algunas cuestiones importantes que analizamos a continuación.

3.4.1 Controversias

Analizamos a continuación algunas cuestiones importantes para las investigaciones vinculadas a la evaluación de las funciones ejecutivas:

-El problema de la medición. Tal como ya se ha comentado, cualquier prueba o tarea de evaluación de las funciones ejecutivas constituye un indicador imperfecto de la capacidad que se

pretende evaluar. La dificultad para realizar una tarea ejecutiva puede reflejar un déficit en la función ejecutiva que se quiere evaluar, pero también puede reflejar un problema originado por causas diversas: problemas de visión, auditivos, de atención, de velocidad de procesamiento o, simplemente, porque el niño no entienda la tarea, esté estresado, no haya dormido bien, esté preocupado, etc.

-La diversidad en el funcionamiento ejecutivo. Casi ninguna medida de las funciones ejecutivas hace participar a solo una función ejecutiva. Por ejemplo, un niño puede tener problemas en una tarea de control inhibitorio debido a déficits en la memoria de trabajo, puede fallar en una tarea de memoria de trabajo debido a problemas con el control inhibitorio o puede mostrar déficits en una tarea de flexibilidad cognitiva debido a problemas en cualquiera de las otras dos funciones ejecutivas básicas.

-El contexto de laboratorio (validez ecológica). Las evaluaciones clínicas están alejadas de las distracciones típicas en el aula y brindan el apoyo continuo del examinador, lo cual puede enmascarar algunos déficits ejecutivos del niño. Las tareas basadas en el rendimiento han sido durante mucho tiempo el enfoque dominante para medir las funciones ejecutivas y, a pesar de todo, siguen siendo consideradas el método de evaluación prioritario. A través de test de rendimientos específicos, este tipo de evaluaciones formales permiten observar habilidades ejecutivas de una forma más estructurada, suministrando información que compara el desempeño del niño con estándares previamente establecidos. A diferencia de las evaluaciones no formales, que suelen ser tareas más ecológicas, como entrevistas a padres y docentes o métodos de observación que no comparan el rendimiento con estándares predeterminados.

En la práctica, ambos tipos de evaluaciones pueden conllevar problemas. Por una parte, la mayoría de las evaluaciones objetivas de las funciones ejecutivas utilizan tareas de laboratorio que están alejadas de la vida real. Y, por otra, aunque los informes de familias y docentes están relacionados con la vida real utilizan escalas subjetivas que se ven influenciadas por diferentes sesgos de los propios evaluadores.

En contextos educativos pueden ser útiles ambos criterios de evaluación porque suministran diferente información sobre las funciones ejecutivas analizadas que pueden ayudar a supervisar la evolución del estudiante, dentro y fuera del aula, durante la intervención.

3.4.2 Procedimientos de evaluación en la infancia

Mencionemos a continuación algunas tareas de evaluación ampliamente utilizadas en los estudios que pueden ser útiles para nuestra investigación sobre las funciones ejecutivas en la infancia.

El **control inhibitorio** y el éxito frente a situaciones de conflicto cognitivo se ponen a prueba a través de tareas que, en general, requieren que quien las realiza deba seleccionar una respuesta alternativa a la que es dominante en el contexto de la tarea. Es el caso del **test de Stroop** (Stroop, 1935). En esta tarea, los niños tienen que nombrar el color de la tinta en la que está escrita una palabra. En los ensayos congruentes, la palabra escrita es del mismo color que la tinta con la que está escrita, mientras que, en los ensayos incongruentes, aquellos que inducen conflicto, la palabra hace referencia a un color diferente al color con el que está escrita (por ejemplo, la palabra rojo escrita con tinta de color azul). La diferencia entre el tiempo necesario para responder a ensayos congruentes e incongruentes suministra el efecto de conflicto, por lo que en esta tarea es clave medir con precisión el tiempo de respuesta. El test de Stroop se utiliza con niños alfabetizados en edad escolar. Para los más pequeños que todavía no leen se utiliza una tarea análoga al test de Stroop que es la **tarea Día-Noche** (Gerstadt, Hong y Diamond, 1994), la cual se ha utilizado con niños en edad preescolar y escolar. Inicialmente, se pide a los niños que digan “día” cuando se les muestre un dibujo del sol y “noche” cuando se les muestre un dibujo de una luna. Después se les pide que cuando vean el dibujo del sol digan “noche” y cuando vean el dibujo de la luna digan “día”, lo que genera un conflicto entre lo que se ve y lo que se debe decir.

En el contexto de la infancia, una tarea que también permite evaluar el control inhibitorio (además de la flexibilidad cognitiva y la memoria de trabajo) es la **Tarea Head-Toes-Knees-Shoulders** (HTKS; McClelland *et al.*, 2014; Gonzales *et al.*, 2021). Esta prueba es apropiada para niños de entre 4 y 8 años y constituye una forma divertida de evaluar las tres funciones ejecutivas básicas a través de un juego de movimiento parecido a *Simón dice*. Está compuesta por 3 etapas que hacen participar a diferentes partes del cuerpo, de forma que el niño debe ejecutar la acción contraria a lo que diga el evaluador. En la primera etapa se trabaja con la cabeza y los pies, en la segunda se añaden los hombros y las rodillas y en la tercera etapa se cambian las reglas del juego (“tócate la cabeza cuando diga tócate los pies”, por ejemplo). La proporción de respuestas correctas en los ensayos realizados nos dará información sobre el desempeño en la tarea.

También se utilizan mucho las tareas de conflicto espacial llamadas **tareas tipo Simon** (Gerardi-Caulton, 2000). En estas tareas los estímulos pueden presentarse en la parte izquierda o en la parte derecha de la pantalla, y hay que responder con la mano izquierda o con la derecha, respectivamente. El conflicto se induce cuando se pide al participante que para un determinado estímulo (un corazón, por ejemplo) responda con la mano del mismo lado, mientras que para otro estímulo (una flor, por ejemplo) responda con la mano del lado contrario en que se presenta el estímulo.

Otra prueba muy utilizada para medir el control inhibitorio, principalmente con niños en edad escolar, es la **tarea Go-NoGo**, que está basada en las investigaciones de Luria (Luria, 2012). Los niños deben dar una respuesta rápida a una señal, el estímulo Go (semáforo verde), presionando, por ejemplo, una tecla del ordenador. En cambio, han de inhibir la respuesta cuando aparezca una señal diferente, el estímulo No-Go (semáforo rojo). La medida más utilizada para el control inhibitorio es la proporción de respuestas incorrectas ante ensayos No-Go (errores de comisión).

Otra prueba que se utiliza mucho para medir el control inhibitorio (especialmente su componente atencional, la atención ejecutiva) es la **tarea de flancos** (en inglés, *Flanker Task*; Eriksen y Eriksen, 1974). En esta prueba los niños tienen que indicar el sentido hacia el que apunta una flecha que se encuentra flanqueada por otras dos flechas a cada lado. La condición congruente se da cuando las flechas de los flancos apuntan hacia el mismo sentido que la flecha central, mientras que en la condición incongruente los flancos apuntan en sentido opuesto a la central. La interferencia creada por los flancos en la condición incongruente conlleva un tiempo de respuesta más lento porque requiere la participación de los procesos atencionales para suprimir la interferencia. La sustracción entre ensayos incongruentes y congruentes suministra un índice de interferencia de flancos que indica la falta de precisión en las respuestas.

Basándose en la tarea de flancos, se creó la tarea de las redes atencionales (en inglés, **ANT**, *Attention Network Task*; Fan *et al.*, 2002) que posteriormente se adaptó a población infantil (Rueda *et al.*, 2004a). En esta tarea se pide indicar el sentido hacia el que apunta el estímulo central (pez en la versión infantil, en lugar de flechas para los adultos) pulsando una tecla, una labor que puede ser realizada por niños desde los 3 o 4 años de edad en adelante, aproximadamente. Esta tarea no solo mide la atención ejecutiva, sino también las otras dos redes atencionales identificadas, la de alerta y la de orientación (Petersen y Posner, 2012).

La **flexibilidad cognitiva** se evalúa en tareas de alternancia, las cuales conllevan pasar de un esquema cognitivo a otro. Una tarea clásica que evalúa la flexibilidad cognitiva, junto al control inhibitorio, es el **Test de clasificación de tarjetas de Wisconsin (WCST)**; Grant y Berg 1948; Heaton, Talley y Curtiss, 1993). A los niños se les presentan tarjetas que difieren en función de tres categorías básicas (forma, color y número). Luego se les muestran tarjetas individuales que tienen una característica común con alguna de las anteriores que han de descubrir. El experimentador informa al niño después de cada tarjeta si la clasificación es correcta o incorrecta. Tras un cierto número de respuestas correctas consecutivas, la característica cambia y el niño debe descubrir el nuevo principio de clasificación. El WCST se ha utilizado con niños mayores de 6 años, aproximadamente, porque a partir de esa edad ya han desarrollado los circuitos que sustentan la habilidad de flexibilizar la conducta.

Con niños menores se ha utilizado la *Dimensional Change Card Sort (DCCS)* (Zelazo *et al.*, 2003). A los niños se les presentan tarjetas que representan formas de colores que se pueden clasificar de manera diferente, dependiendo de si se clasifican por color o por forma. Primero se les dice que clasifiquen por una dimensión (por ejemplo, color), y luego se les dice que clasifiquen por la otra dimensión (por ejemplo, forma). La medida dependiente clave es el número correcto de respuestas en la fase posterior al cambio. La tarea DCCS se ha utilizado con niños de 3 a 5 años, aunque también se han utilizado versiones con niños en edad escolar y adultos.

La tarea DCCS también se ha utilizado para evaluar la **memoria de trabajo** en la infancia. Al igual que las tareas de secuencias en orden inverso, sean pruebas con números, letras o cubos de Corsi, en las que tienen que recordar los elementos en orden inverso y que son adecuadas para edades a partir de los tres años (Garon, Bryson y Smith, 2008).

Un paradigma experimental muy utilizado en neurociencia para medir la memoria de trabajo es la **tarea *n*-back** (Owen, McMillan, Laird y Bullmore, 2005). En ella se deben recordar un tipo concreto de estímulos (por ejemplo, números, letras o imágenes) que van apareciendo sucesivamente en la pantalla del ordenador. El niño debe presionar una tecla cada vez que vea que se repite el estímulo anteriormente presentado y pasar a un nuevo ensayo, lo que requiere una actualización continua de la información. La cantidad de estímulos que se presentan antes de que uno concreto se repita constituye la carga de la memoria de trabajo, que sabemos que es limitada. Esta puede ser 1-back (con números sería 1-2-1, por ejemplo), 2-back (1-5-2-1), 3-back (1-8-5-4-1) y así sucesivamente.

Otro paradigma experimental muy utilizado para evaluar la memoria de trabajo son las **tareas de intervalos** (en inglés, *span tasks*; Conway *et al.*, 2005). Un ejemplo de ello (*operation span*; Foster *et al.*, 2015) utiliza letras que se han de recordar y cálculos matemáticos sencillos que actúan como distractores. Se sigue la secuencia letra, cálculo, letra y cálculo..., que se repite de tres a siete veces. La evaluación se obtiene calculando el número de letras recordadas en el orden correcto. Existe una gran variedad de estas tareas y pueden utilizarse en la infancia o la adultez, adaptando el nivel de dificultad.

Y existen, por supuesto, otras muchas tareas y baterías. Por ejemplo, una tarea para evaluar la **planificación** es la **Torre de Londres** (Shallice, 1982). Esta prueba basada en el test de la Torre de Hanoi (Humes *et al.*, 1997) mide la capacidad de planificación. Se presenta a los niños tres esferas de distintos colores y tres varillas de diferentes tamaños y, a partir de una configuración inicial, deben alcanzar una configuración final concreta en la cantidad de movimientos indicada y en el menor tiempo posible. La tarea se ha utilizado en la etapa de educación infantil y en la de Primaria.

Aunque en nuestra investigación utilizamos medidas basadas en el rendimiento (test) para evaluar las funciones ejecutivas, también se utilizan con frecuencia las medidas de calificación. Además de las entrevistas a padres y profesores, que pueden suministrar información útil sobre el funcionamiento ejecutivo del niño, hay inventarios que se utilizan mucho. Por ejemplo, el **BRIEF** (del inglés, *behavior rating inventory of executive function*; Gioia *et al.*, 2000) es una escala compuesta por dos cuestionarios, uno para padres y otro para docentes, diseñados para evaluar el funcionamiento ejecutivo en el hogar y en la escuela, respectivamente. Cada cuestionario contiene 86 apartados. Se exploran ocho áreas de las funciones ejecutivas: inhibición, flexibilidad, control emocional, iniciativa, memoria de trabajo, organización y planificación, orden y monitorización. Los resultados se agrupan en dos escalas principales: regulación de la conducta y metacognición. La versión específica para preescolares (BRIEF-P; Gioia, Espy y Isquith, 2003) está compuesta por cinco escalas: inhibición, flexibilidad, control emocional, memoria de trabajo con planificación y organización. Es adecuada para niños de entre 2 y 5 años, aproximadamente.

En un estudio reciente se compararon los resultados suministrados por test estandarizados para evaluar las funciones ejecutivas (test de Stroop corazón-flor, test de Corsi y la tarea Torre de Londres) con las calificaciones dadas por el BRIEF-P en niños de 5 años de edad de varias escuelas (Nin *et al.*, 2022). Se encontró una asociación significativa para el control inhibitorio y la planificación en los test y en el cuestionario BRIEF-P que era independiente del SES de las familias. Pero no para la flexibilidad cognitiva. Mientras que, para la memoria de trabajo, el cuestionario predecía los resultados del *span* del test de Corsi solo en las escuelas de alto SES. Según las propias autoras de la investigación, aunque no hay una mejor medida que la otra, estos resultados son relevantes porque la posibilidad de evaluar las funciones ejecutivas a través de cuestionarios no requiere personal específicamente capacitado y conlleva menos tiempo que aplicar baterías de test individualmente.

IDEAS CLAVE

- Las funciones ejecutivas se consideran un conjunto de habilidades cognitivas necesarias para el control consciente y voluntario de pensamientos, emociones y acciones. Son imprescindibles para el bienestar, el aprendizaje y el buen desempeño cotidiano.
- Se han identificado tres funciones ejecutivas básicas (control inhibitorio, memoria de trabajo y flexibilidad cognitiva) que posibilitan otras funciones cognitivas de orden superior como el razonamiento, la resolución de problemas y la planificación.
- Las funciones ejecutivas van desarrollándose gradualmente hasta alcanzar su madurez en la adultez, con fases de grandes mejoras en la infancia.
- El desarrollo prolongado de la corteza prefrontal hace que la influencia genética sea menor que la de otras regiones y que sea mayor el impacto de las condiciones ambientales. De ahí la importancia del contexto social y cultural en el desarrollo de las funciones ejecutivas.
- Las funciones ejecutivas pueden entrenarse y mejorarse, también en el contexto del aula.

CAPÍTULO 4.

Entrenamiento cognitivo

Capítulo 4. Entrenamiento cognitivo

Existen genes que determinan una característica biológica, mientras que otros solo la influyen. En lo referente al proceso de construcción y el funcionamiento del cerebro, la genética condiciona o predispone el resultado final, es decir, los genes no tienen sentido fuera del contexto del ambiente (Champagne, Mashoodh, 2009). El entorno en el que crecemos, las oportunidades de aprendizaje y un sinnúmero de factores culturales y sociales interactúan con la biología para conformar el cerebro singular que nos diferencia a cada uno de los humanos. Esta gran influencia de la experiencia en el desarrollo también nos diferencia del resto de especies y es la neuroplasticidad, propiedad intrínseca del sistema nervioso, la responsable de que el cerebro esté remodelándose y adaptándose continuamente a partir de las experiencias que vivimos y de que podamos aprender durante toda la vida. Asimismo, parece que las regiones cerebrales que completan más tarde su proceso madurativo y realizan funciones más complejas tienen mayores ventanas temporales de plasticidad que las que maduran antes, por lo que están más influenciadas por la experiencia (Pascual-Leone *et al.*, 2005). Es el caso de la corteza prefrontal y las funciones ejecutivas, tal como explicamos en el apartado 3.3.

Como consecuencia de lo mencionado antes, podríamos esperar que a través de la práctica mejoraran las habilidades cognitivas (plasticidad cognitiva) de los estudiantes con programas de actividades específicas (Von Bastian *et al.*, 2022). Es lo que se conoce en la literatura científica como **entrenamiento cognitivo**, que es un campo de investigación que ha crecido mucho en los últimos años debido, básicamente, a tres cuestiones: la evidencia sólida de que la plasticidad cerebral puede darse a cualquier edad, especialmente en la **infancia**, el desarrollo de las **tecnologías** que posibilitan evaluaciones cognitivas más rigurosas y la posibilidad de **transferencia del aprendizaje** a tareas y habilidades no entrenadas (Strobach y Karbach, 2021). En el caso concreto de la mejora de las funciones ejecutivas, el interés fue alimentado por la evidencia de que las funciones ejecutivas en la infancia afectan al rendimiento académico, el bienestar y el desempeño en la vida, tanto en la infancia como años más tarde (Moffitt *et al.*, 2011).

En los últimos años se han realizado muchas investigaciones para analizar el impacto del entrenamiento de habilidades cognitivas en la ejecución de tareas específicas y en el funcionamiento de las áreas cerebrales implicadas en dicha ejecución. Un alto porcentaje de estas intervenciones utilizan programas de entrenamiento a través de tareas de ordenador. Es el caso de Mate Marote, el *software* lúdico que hemos utilizado en nuestra investigación. En el caso concreto de las funciones ejecutivas, existe evidencia sólida de los efectos negativos sobre su desarrollo en la infancia de la exposición a situaciones adversas (McDermott *et al.*, 2012) y el estrés agudo

(Shields, Sazma y Yonelinas, 2016). Conviene plantearse la posible existencia de condiciones favorables que ayuden a optimizar el buen funcionamiento ejecutivo.

4.1 El problema de la transferencia

4.1.1 Transferencia cercana y lejana

Aunque es sólida la evidencia de que el entrenamiento cognitivo produce mejoras en el rendimiento de las tareas entrenadas, lo cual suele ser el objetivo básico de la intervención, sigue habiendo controversia sobre si estos beneficios pueden generalizarse a otras situaciones. Este fenómeno se conoce como transferencia, que puede ser cercana o lejana según la similitud que exista entre las habilidades entrenadas y las no entrenadas (Barnett y Ceci, 2002). En el caso de la **transferencia cercana**, los beneficios de las tareas no entrenadas se deben a que hacen participar a los mismos procesos cognitivos que intervienen en las tareas entrenadas (Taatgen, 2013). Por ejemplo, cuando la mejora de una tarea de memoria de trabajo va acompañada de una mejora en una tarea distinta que también evalúa la memoria de trabajo. Sin embargo, hablaríamos de **transferencia lejana** del aprendizaje si la mejora en una tarea de memoria de trabajo fuera acompañada de una mejora en una prueba que midiera la inteligencia fluida, o en una de matemáticas, por ejemplo. Los estudios con neuroimágenes sugieren que para que se produzca la transferencia del aprendizaje entre tareas entrenadas y las no entrenadas es necesario que ambas involucren a regiones comunes del cerebro (Dahlin *et al.*, 2008).

Hay muchos estudios que demuestran que el entrenamiento cognitivo puede producir mejoras en diferentes dominios cognitivos en cualquier etapa de la vida, en especial en la infancia. Un alto porcentaje de estos han confirmado la transferencia cercana, pero la evidencia es mucho menor en el caso de la transferencia lejana. En el caso concreto de las funciones ejecutivas, existe algún estudio en el que se ha comprobado que el entrenamiento específico de las funciones ejecutivas básicas posibilita la transferencia a otros procesos ejecutivos. Por ejemplo, en Kray *et al.* (2012), un entrenamiento específico en flexibilidad cognitiva produjo mejoras en tareas de control inhibitorio y de memoria de trabajo en estudiantes de Primaria. Y un entrenamiento similar produjo mejoras en pruebas de inteligencia fluida (Karbach y Kray, 2009). Asimismo, también se han identificado mejoras en tareas de control inhibitorio en niñas y niños de 4 y 5 años de edad como consecuencia de un entrenamiento de la memoria de trabajo (Thorell *et al.*, 2009).

Sin embargo, la implementación de protocolos con un enfoque holístico que estimulan más de una función ejecutiva a la vez parece que es la estrategia más prometedora para la transferencia lejana, especialmente en el contexto académico de la etapa de educación infantil (Blair y Raver, 2014; Heckman, Pinto y Savelyev, 2013). Es el caso del estudio en el que se basa nuestra investigación, en donde se encontraron mejoras en el rendimiento académico en niños de edad

escolar tras el entrenamiento de varias funciones ejecutivas a la vez (Goldin *et al.*, 2014; ver apartado 4.4.4). Algo parecido se ha encontrado en investigaciones que se centran más en el entrenamiento de la atención ejecutiva que han identificado una transferencia del aprendizaje a pruebas de inteligencia fluida en niños de entre cuatro y seis años de edad (Rueda *et al.*, 2005, Rueda, Checa y Cómbita, 2012). Esta misma transferencia lejana se ha dado en estudios centrados en el entrenamiento de la memoria de trabajo para niños de entre siete y doce años de edad (Klingberg *et al.*, 2005) y para jóvenes adultos (Jaeggi *et al.*, 2008). Aunque en el caso de la memoria de trabajo no todos los estudios han encontrado esta transferencia, tanto utilizándose tareas similares a las utilizadas en los dos estudios anteriores (Redick *et al.*, 2013), como en el caso de utilizar otras tareas de entrenamiento de la memoria de trabajo (Chein y Morrison, 2010). En todos los casos parece que la evaluación de la transferencia requiere el uso de diferentes tareas, eliminándose así la posibilidad de que la mejora en las habilidades cognitivas pueda ser explicada por la mejora específica en una tarea concreta (Shipstead, Redick y Engle, 2012).

Como en la actualidad no se conocen específicamente las condiciones concretas para que se dé la transferencia, no tiene sentido aplicar protocolos específicos en las investigaciones para intentar demostrar la transferencia lejana (Katz, Shah y Meyer, 2018). Es por eso que en los últimos años se han realizado algunas revisiones de los estudios publicados. En lo referente al entrenamiento de la memoria de trabajo, algún metaanálisis ha mostrado evidencia de efectos pequeños de transferencia lejana, pero significativos (Au *et al.*, 2015; Karbach y Verhaeghen, 2014). Sin embargo, en otros metaanálisis no se encontró transferencia del aprendizaje a otros dominios cognitivos, identificándose la posible existencia de sesgos de publicación a favor de estudios que la apoyan en detrimento de los que obtienen efectos nulos o diferentes a los esperados (Melby-Lervåg, Redick y Hulme, 2016; Sala y Gobet, 2019; Sala y Gobet, 2020). Estas revisiones han criticado algunos fallos metodológicos de los estudios analizados. Por ejemplo, algunos estudios no incluyen un grupo de control activo, posibilitando que la transferencia pueda ser atribuida al efecto Hawthorne⁵ o a efectos placebo en general. Otros estudios incluyen un grupo de control activo, pero la tarea realizada por los integrantes de este grupo es menos exigente, atractiva o realista que la del grupo experimental. Y algunos estudios también han sido criticados por el uso de una única tarea para analizar la transferencia del aprendizaje.

⁵Debido al efecto Hawthorne, los participantes de un estudio muestran cambios en algún aspecto de su conducta como consecuencia de saber que están siendo estudiados y no en respuesta a ninguna manipulación del experimento (McCarney *et al.*, 2007).

En los dos metaanálisis citados de Sala y Gobet, los autores mencionan que el entrenamiento cognitivo no mejora la cognición general ya que los tamaños del efecto identificados en los estudios de las revisiones son bajos, encontrando una correlación inversa entre el tamaño del efecto y la calidad del diseño metodológico de los estudios. Por el contrario, un metaanálisis que incluyó numerosas intervenciones de entrenamiento cognitivo demostró una transferencia del aprendizaje en una amplia variedad de dominios: académicos, cognitivos, psicosociales y de salud (Smithers *et al.*, 2018). Estos autores encontraron que los estudios de mayor calidad producían tamaños del efecto más grandes, a diferencia de lo identificado en los metaanálisis de Sala y Gobet.

Recientemente, se ha publicado el primer metaanálisis sobre el entrenamiento cognitivo de las funciones ejecutivas limitado a niños de edad preescolar (de 3 a 6 años). Quizás el resultado más interesante es que los efectos de la transferencia cercana y lejana fueron similares (tamaños del efecto de 0,35 frente a 0,32, respectivamente) y estadísticamente significativos. En consonancia con otros estudios anteriores, también se han identificado mayores beneficios del entrenamiento cognitivo en niños con TDAH y de entornos socioeconómicos más desfavorecidos (Scionti *et al.*, 2020).

Finalmente, un hallazgo empírico sorprendente en algunas intervenciones centradas en el entrenamiento de la memoria de trabajo es la observación de transferencia lejana sin transferencia cercana (Jaeggi *et al.*, 2008; Von Bastian y Oberauer, 2013). Las diferencias particulares entre los procesos cognitivos que miden las tareas similares utilizadas para evaluar el entrenamiento y la transferencia podrían explicar lo observado en esos estudios (Von Bastian *et al.*, 2022).

4.1.2 Condiciones importantes de una intervención

Se han identificado una serie de factores que podrían explicar los diferentes resultados obtenidos en los estudios de entrenamiento cognitivo. Anteriormente hicimos referencia a los posibles sesgos de publicación identificados por algunas revisiones que revelan la tendencia de los autores a enviar los estudios con resultados positivos o que confirman las hipótesis iniciales (Green *et al.*, 2019). Junto a estos sesgos, un elemento crítico es la existencia de **diferencias individuales** ante una misma intervención. Diversos factores afectarían a estas diferencias. Por ejemplo, la edad, el nivel cognitivo inicial, la motivación, la personalidad e incluso condicionamientos genéticos (Smid, Karbach y Steinbeis, 2020). Genotipos específicos hacen más susceptibles al entrenamiento cognitivo a unas personas que otras. En particular, se ha identificado que la variación 10R del gen DAT1 se asocia principalmente a la impulsividad, mientras que la variación 7R del gen DRD4 se asocia especialmente a déficits atencionales (Albrecht *et al.*, 2014). Por cierto, una crianza inadecuada está asociada a un incremento de hasta seis veces mayor de conductas disruptivas en niños de edad preescolar portadores de la variante mencionada del gen

DRD4, respecto a aquellos en los que no se da esta combinación de riesgos (Bakermans-Kranenburg y Van Ijzendoorn, 2006).

Un factor especialmente relevante para explicar las diferencias individuales en la plasticidad cognitiva de las personas es el nivel cognitivo de partida en la intervención (desempeño basal), lo cual será importante en nuestra investigación. En algunos estudios los mayores beneficios se dan cuando el nivel de partida de los participantes es mayor, mientras que en otros se dan cuando los participantes parten de un nivel menor. Según Karbach *et al.* (2017), los participantes que ya se desempeñan muy bien antes de la intervención obtendrían mayores beneficios inducidos por el entrenamiento ya que disponen de recursos cognitivos más eficientes para adquirir e implementar nuevas estrategias. Este es el caso de estudios de entrenamiento de estrategias de memoria. Mientras que, en la segunda situación, típica del entrenamiento de las funciones ejecutivas, los participantes con mayor rendimiento inicial mostrarían menos beneficios porque ya están funcionando al nivel óptimo y tienen menos margen de mejora (Traut, Guild y Munakata, 2021). En esta situación, los participantes con menor rendimiento inicial se beneficiarían más como consecuencia de un proceso de compensación. Esta es la situación que se dio en el estudio de Goldin *et al.* (2014) que sirve de referencia para nuestra investigación. Los niños que provenían de entornos socioeconómicos desfavorecidos partían de un nivel cognitivo menor que el resto y se beneficiaron más de la intervención.

Otro factor importante que ha generado mucho debate es si los efectos de la intervención perduran en el tiempo. Algunos estudios han mostrado efectos a largo plazo después del entrenamiento cognitivo, mientras que en otros no se han podido demostrar tales efectos (Jaeggi *et al.*, 2014). Haciendo la analogía del entrenamiento cognitivo con el entrenamiento cardiovascular, seguramente sean necesarias sesiones continuas de entrenamiento espaciadas en el tiempo para consolidar los beneficios. Aunque desconocemos la frecuencia con la que tendrían que realizarse tales sesiones de refuerzo. En la práctica, no suelen ser frecuentes las investigaciones en las que el entrenamiento se extiende más allá de un número concreto de sesiones realizadas a lo largo de varias semanas. Y tampoco se suelen volver a evaluar los efectos del entrenamiento a largo plazo debido a los mayores recursos de personal o financiación que requieren los estudios prolongados en el tiempo.

4.2 Posibles mejoras metodológicas

Si queremos desarrollar intervenciones más efectivas, resulta esencial identificar y comprender los mecanismos que subyacen a las mejoras del rendimiento cognitivo inducidas por el entrenamiento.

Existen una serie de principios que son básicos para maximizar el aprendizaje de habilidades cognitivas y su generalización a otros dominios (Rueda, 2021):

1. Dedicación: las horas de práctica incrementan el aprendizaje.
2. Distribución de las sesiones de aprendizaje: el espaciamiento de las sesiones de trabajo produce un mejor aprendizaje que la dedicación intensa en un espacio corto de tiempo.
3. Adaptación del material: el aprendizaje es máximo cuando la actividad requiere habilidades cognitivas que están en la zona de desarrollo próximo del individuo.
4. Guía social/andamiaje: el aprendizaje se facilita cuando inicialmente se proporciona ayuda externa para identificar errores y desarrollar estrategias.
5. Motivación: las actividades que despiertan interés y cuya realización o logro produce satisfacción dan lugar a aprendizajes más eficaces.
6. Variedad de actividades: El uso de un rango heterogéneo de actividades para aprender un concepto o esquema común facilita la abstracción y generalización del aprendizaje

Estos principios han de tenerse en cuenta en la intervención para que pueda ser exitosa. Desde la perspectiva metodológica, un elemento crítico para demostrar si la intervención genera transferencia reside en la utilización de un diseño experimental con **pretest** (antes del entrenamiento) y **posttest** (inmediatamente después del entrenamiento). Las mejoras inducidas por el entrenamiento se miden mediante la evaluación del rendimiento cognitivo antes y después de la intervención y algunas investigaciones también incluyen un test de seguimiento que permite evaluar los efectos a largo plazo del aprendizaje, normalmente entre 3 y 6 meses después de acabar la intervención. Las intervenciones basadas en la mejora de las funciones ejecutivas se centran en la práctica espaciada de tareas cognitivas de laboratorio que pueden llevarse al contexto del aula, tal como hemos hecho en nuestra investigación. Muchas intervenciones comprenden de 10 a 20 sesiones, cada una de entre 20 y 60 minutos de duración. Aunque el número de sesiones puede variar notablemente y también el tiempo de duración de las mismas, especialmente en la infancia (Schmiedek, Lövdén y Lindenberger, 2010).

El entrenamiento cognitivo se evalúa comparando los cambios en las medidas realizadas (tareas de entrenamiento, tareas de transferencia cercana y tareas de transferencia lejana) entre las evaluaciones previas a la prueba (pretest), las posteriores a la prueba (posttest) y las de seguimiento, en el caso de que existan.

Para distinguir los efectos inducidos por el entrenamiento de los cambios cognitivos que pueden surgir tras completar el mismo conjunto de tareas, hay que comparar el grupo que recibe la intervención (**experimental**) con un grupo de características similares que no enfrenta a esa situación experimental (**control**). Las tareas elegidas para los grupos de control deben ser tan

creíbles como las del grupo experimental para que puedan provocar expectativas similares con respecto al éxito del entrenamiento.

El grupo de control puede ser pasivo o activo. En el primer caso, los participantes no se someten a la intervención y en el segundo se someten a una intervención que no hace participar los mismos procesos cognitivos que las tareas del grupo experimental. Se ha demostrado que los grupos de control activo ayudan a combatir los efectos placebo y las expectativas (Foroughi *et al.*, 2016).

Una crítica de muchos estudios de entrenamiento es la inclusión de tamaños de muestra que son demasiado pequeños para detectar cualquier efecto de transferencia. Generalmente, no más de 30 participantes (Melby-Lervåg, Redick y Hulme, 2016).

Según Von Bastian *et al.* (2022), a pesar de estas preocupaciones metodológicas, los estudios anteriores no deben descartarse indiscriminadamente si no incluyeron grupos de control activo, una evaluación amplia de la transferencia o tamaños de muestra adecuados. Es importante identificar las fortalezas y debilidades de las metodologías utilizadas al evaluar la evidencia general de la efectividad del entrenamiento cognitivo, en especial al interpretar los resultados de los metaanálisis.

En los últimos años se están realizando interesantes propuestas metodológicas que tienen como objetivo mejorar los protocolos de entrenamiento y medición. Recientemente, un grupo de 50 científicos publicó un trabajo (Green *et al.*, 2019) en el que se hacen una serie de recomendaciones que pueden ayudar a mejorar la eficacia de las intervenciones. Estos autores han identificado la importancia de seleccionar y asignar adecuadamente los grupos de control según los objetivos y el tipo de estudio realizado. Los grupos de control activo pueden neutralizar factores como las expectativas o el entusiasmo del instructor y ayudar a identificar los beneficios específicos que acompañan a cualquier intervención. En cuanto a la **asignación aleatoria** de los participantes, puede utilizarse en muestras grandes, pero puede crear ciertos desequilibrios cuando el número de participantes es menor. Junto a esto, resulta necesaria la adopción del método del **doblo ciego** que se utiliza mucho en medicina. En este tipo de ensayos los participantes del estudio y los propios investigadores desconocen la asignación de los participantes a cada grupo de la intervención, si no en lo referente al contenido de la intervención, sí respecto a la hipótesis o intención de la misma. Y también se menciona en esa publicación, entre otras cuestiones, la importancia de poner un mayor énfasis en las medidas del mundo real en los procesos de evaluación y la necesidad de comunicar de forma clara los objetivos del estudio, el tipo de investigación que se realiza y el análisis estadístico completo (no solo los resultados consistentes con la hipótesis planteada) que permitan la réplica del mismo, lo cual, en la práctica, suele ser bastante difícil (Open Science Collaboration, 2015; ver apartado 5.1.2).

En cuanto al problema de la transferencia, la mejora de las intervenciones requiere conocer cuándo se da la transferencia, pero también qué procesos cognitivos tienden a cambiar para que las intervenciones se centren en ellos. Von Bastian y Oberauer (2014) han propuesto que el entrenamiento cognitivo puede inducir la transferencia a través de dos vías que no necesariamente tienen que ser mutuamente excluyentes (modelo capacidad-eficiencia): mediante el aumento de la capacidad cognitiva (recursos cognitivos globales que dispone la persona) o a través de la mejora de la eficiencia con la que se utiliza la capacidad cognitiva disponible. En el caso concreto de la memoria de trabajo, la mejora de la capacidad permitiría a la persona mantener más elementos en la memoria de trabajo que antes del entrenamiento, mientras que la mejora de la eficiencia le permitiría usar mejor la capacidad de la memoria de trabajo. Por ejemplo, utilizando estrategias de agrupación de ítems (*chunks*) para recordar más información. Como existe poca evidencia de que el entrenamiento mejore la capacidad cognitiva y sí que existe evidencia de la mejora de la eficiencia cognitiva, el desarrollo de intervenciones efectivas de entrenamiento cognitivo tendría que centrarse en la identificación de los mecanismos cognitivos asociados a la mejora de la eficiencia cognitiva (Von Bastian *et al.*, 2022).

Más allá de la adquisición de estrategias específicas o conocimientos generales de las tareas, la mejora de la eficiencia cognitiva también podría darse a través de un mayor nivel de automatización o una mayor velocidad de procesamiento de la información que libere recursos cognitivos para otras tareas simultáneas, lo cual ampliaría el marco teórico expuesto por Gathercole *et al.* (2019), en el que se propone que los cambios inducidos por el entrenamiento de la memoria de trabajo se deben a la adquisición de rutinas cognitivas que dependen de los recursos cognitivos generales que solo pueden aplicarse a tareas similares. El uso flexible de las rutinas cognitivas, adquiridas en diferentes contextos con una participación reducida de la red ejecutiva, podría establecer la transferencia sin aumentar necesariamente la capacidad del sistema cognitivo.

4.3. Aplicaciones educativas del entrenamiento cognitivo

Hay estudios que indican que las funciones ejecutivas básicas están relacionadas con las habilidades académicas y que los déficits en lectura y habilidades matemáticas están asociados con los déficits de memoria de trabajo (Titz y Karbach, 2014). Por lo tanto, podríamos suponer que el entrenamiento de las funciones ejecutivas mejore las habilidades académicas.

Estudios recientes indican que la memoria de trabajo puede beneficiar las habilidades académicas en niños con problemas de aprendizaje o déficit de atención (Dahlin, 2011; Holmes, Gathercole, y Dunning, 2009) y niños con desarrollo típico (Karbach, Strobach y Schubert, 2015; Kuhn y Holling, 2014). Y también existe alguna evidencia de que el entrenamiento del control inhibitorio y de la flexibilidad cognitiva pueden beneficiar algunas habilidades académicas (Goldin *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2019). Aunque los hallazgos con respecto a la transferencia del entrenamiento

cognitivo a las habilidades académicas son bastante inconsistentes. Esta heterogeneidad puede deberse a algunas de las variables que ya hemos mencionado en el apartado anterior, como el tipo de entrenamiento, la frecuencia o la duración. En el caso específico de la infancia, el formato de presentación podría jugar un papel importante porque muchos programas de entrenamiento que utilizan tareas cognitivas psicométricas son relativamente monótonos y requieren que los participantes realicen una sola tarea de entrenamiento repetidamente, lo que podría afectar negativamente la motivación en los niños. Sin embargo, la literatura existente sugiere que los niños aprenden mejor cuando están cognitivamente activos y comprometidos, cuando las experiencias de aprendizaje son significativas y socialmente interactivas y cuando el aprendizaje está guiado por un objetivo específico (Hirsh-Pasek *et al.* 2015). Investigaciones recientes indican que las tareas de entrenamiento basadas en juegos podrían ser más efectivas que las tareas de entrenamiento estándar para las funciones ejecutivas (Johann y Karbach, 2020). La integración del juego, elemento básico desde la perspectiva neuroeducativa, y la tecnología, esencial en el aprendizaje en los tiempos actuales, nos lleva a Mate Marote, un *software* lúdico diseñado sobre la base del conocimiento neurocientífico para entrenar las funciones ejecutivas que guía nuestra investigación.

4.4 Mate Marote

4.4.1 Antecedentes históricos

En la primera década del siglo XXI se dio un gran avance en la incorporación de las tecnologías a la educación para que los niños y adolescentes pudieran alcanzar un aprendizaje más acorde con las necesidades sociales de los nuevos tiempos. Junto a esto, en la investigación científica se despertó un interés especial por el desarrollo de programas que beneficiaran el desarrollo cognitivo. En algunos casos, especialmente en Latinoamérica, el interés por el desarrollo de estos programas se centró en que tuvieran un impacto social amplio. En algunos países aparecieron iniciativas como el proyecto One Laptop Per Child (OLPC; <https://laptop.org/>), creado por Nicholas Negroponte en el 2005, en el que se entregó un dispositivo electrónico a cada estudiante en edad escolar con el fin de proporcionarles educación y acceso al mundo digital, especialmente a los más desfavorecidos, promoviendo así una mayor equidad social.

Muy relevante fue el programa uruguayo Ceibal en el que se entregaron, a partir del 2006, más de medio millón de ordenadores o *tablets* a estudiantes de Primaria y Secundaria, además de instalar puntos de acceso a internet en todas las escuelas uruguayas (Mateu, Cobo y Moravec, 2018). El objetivo del Plan Ceibal y de otros similares (como el programa Conectar Igualdad en Argentina; <https://www.argentina.gob.ar/educacion/conectarigualdad>) era promover la inclusión digital (disminuyendo la brecha digital) y, así, un mayor acceso a la educación y a la cultura. Esto ha cobrado especial relevancia en el contexto de confinamiento escolar durante el curso 2019-

2020, a causa de la pandemia de la COVID-19. En Cataluña, por ejemplo, la brecha digital ha sido muy clara, constituyendo un factor de desconexión de las actividades lectivas planteadas por las escuelas de casi un 20 % del alumnado socialmente desfavorecido. Y no solo eso, sino que también se ha identificado una mayor proporción de la población en una situación social y económica más desfavorecida que en la crisis del 2008 (Coll y Albaigés, 2020).

En este contexto, en el año 2008, nace Mate Marote

(<https://matemarote.org.ar/MateMarote/index.html>), una plataforma gratuita *online* (aunque no en sus inicios) de videojuegos de libre acceso creada por investigadores argentinos. Estos videojuegos están inspirados en conocimientos de la neurociencia cognitiva y buscan estimular, a través del juego, el desarrollo de las funciones ejecutivas de niños pequeños (de 4 a 8 años). A diferencia de otras plataformas existentes en el mercado con fines comerciales, Mate Marote permite diseñar e implementar programas de estimulación cognitiva para estudiar muchas de las cuestiones relevantes vinculadas al entrenamiento cognitivo. Los investigadores pueden generar flujos de actividades y modificar parámetros importantes del *software* como el orden de los juegos, el tiempo que están activos o la dependencia entre ellos. Los datos de la actividad de los participantes en los juegos quedan almacenados de forma confidencial y posibilita el seguimiento de su aprendizaje. Todos los procedimientos cuentan con la aprobación de un comité de ética internacional. Para que pueda jugar un niño, se ha de crear una cuenta de usuario en la plataforma que requiere la firma por parte de un adulto de un consentimiento informado.

Mate Marote cuenta con una gran variedad de **juegos** pensados para niños de las etapas de educación infantil y Primaria. Algunos de estos juegos son adaptaciones de tareas clásicas, por lo que permiten estimular el desarrollo de las funciones ejecutivas, mientras otros permiten evaluarlas.

Mate Marote integra de forma natural algunos de los elementos fundamentales del juego, como el reto y el *feedback*. Las actividades son entretenidas y suministran retos adecuados a las necesidades del niño, través de mecanismos adaptativos, lo cual es imprescindible para optimizar su aprendizaje a través de una práctica continuada y sistemática. Estas son algunas de las características fundamentales de todos los buenos proyectos gamificados.

4.4.2 La integración del juego en Mate Marote

Ante la creciente falta de motivación e implicación por parte de muchos estudiantes, han surgido nuevas estrategias metodológicas que tienen como objetivo acercar el aprendizaje a sus necesidades e intereses actuales. Un ejemplo de ello es la **gamificación**, que consiste en el uso de los elementos propios del juego en entornos no lúdicos (Deterding, 2011).

En muchas ocasiones la gamificación aplicada en entornos educativos suele reducirse a establecer un sistema de recompensas (puntos, insignias y clasificaciones) según determinadas acciones

realizadas por los jugadores (en nuestro caso, estudiantes), centrándose específicamente en la motivación extrínseca (Kapp, 2012). Sin embargo, para que tenga un impacto positivo en el aprendizaje, estos elementos tienen que ir acompañados por otros que conlleven la implicación de los participantes como la narrativa, las misiones, los niveles, el diseño, etc. (Dichev *et al.*, 2014). Esto se debe a que la motivación extrínseca puede compartir varias cualidades de la motivación intrínseca si, a través de un proceso de internalización, la satisfacción adquirida por la recompensa externa proviene de nuestro interior (Ryan y Deci, 2020).

Mate Marote incorpora algunos de los elementos básicos que constituyen los principios de diseño de la gamificación aplicada a la educación propuestos por Dicheva *et al.*, 2015 (para una revisión completa, ver Nin, Goldin y Carboni, 2019):

-Objetivos y narrativa. Los juegos de Mate Marote son presentados y protagonizados por tres personajes principales: la niña Ana, el niño Pancho y el gato Nubis. Antes de jugar, alguno de los personajes explica con un lenguaje sencillo el objetivo y el procedimiento de los juegos clarificando las misiones de las tareas que corresponden a cada uno de los niveles.

-Dinámicas. Todos los elementos de la plataforma (personajes, animaciones, etc.) fueron diseñados con una estética atractiva pensando en la infancia. Cada juego tiene un icono especial. Al acceder a la plataforma, los jugadores pueden ver todos los iconos que conforman el flujo de tareas que tienen asignado.

Hay dos elementos que permiten al jugador seguir su avance. En la parte inferior de cada pantalla de juego, el **progreso** se visualiza por ovillos de lana que van pintándose de acuerdo a criterios prefijados que pueden incluir ensayos acertados, cantidad de tiempo jugado, porcentaje completado, etc. Y en la página principal, siguiendo el mismo tipo de criterios, se van iluminando círculos de colores alrededor de los iconos de cada juego según el progreso del jugador.

Inmediatamente después de cada ensayo de entrenamiento se suministra el correspondiente **feedback**, según sea un acierto o un fallo, en modalidad visual, auditiva o ambas. El nivel inicial de los juegos es sencillo y se va incrementando la complejidad conforme el niño va superando los diferentes niveles. Si comete varios errores consecutivos el nivel baja para evitar la frustración.

-Mecánicas. Cada juego otorga **medallas** de bronce a medida que los jugadores van consiguiendo metas. Por ejemplo, haber llegado a un determinado tiempo de juego, haber alcanzado un cierto nivel, haber sorteado un nivel complejo, haber perseverado en un nivel aun cuando no lo haya ganado, etc. Las medallas de bronce se van acumulando y se combinan generando medallas de plata y de oro. Cada medalla otorgada tiene un espacio privilegiado en la pantalla que va acompañado de una animación y sonido especial. Las medallas se comparten entre los juegos, completando un medallero especial en la página principal.

Asimismo, la niña Ana, el niño Pancho y el gato Nubis y otros personajes pueden elegirse como **avatares** al generarse un nuevo usuario en la plataforma.

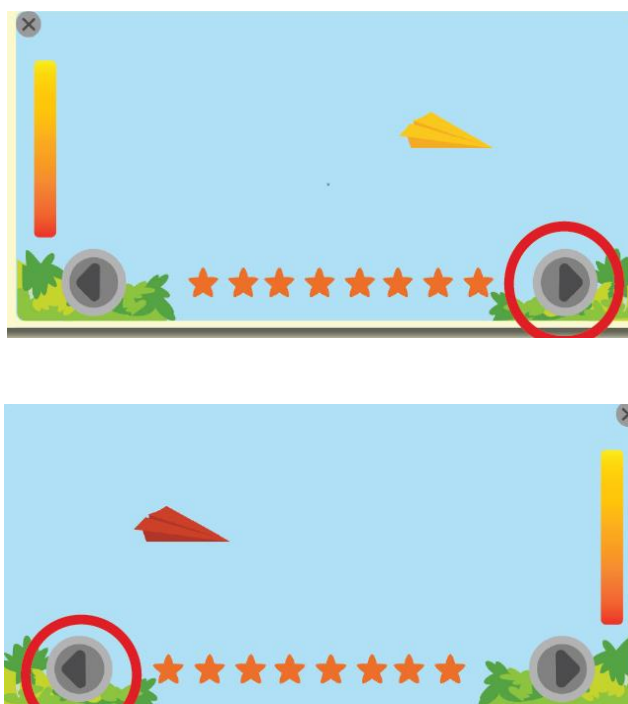
4.4.3 Los juegos de estimulación

Las primeras investigaciones realizadas utilizando Mate Marote (Goldin *et al.*, 2013; Goldin *et al.*, 2014) incluyeron tres juegos orientados a entrenar, principalmente, las funciones ejecutivas básicas y la planificación: *Avioncito* (control inhibitorio y flexibilidad cognitiva), *Memomarote* (memoria de trabajo) y *Casitas* (planificación). Aunque, como ya hemos mencionado, ningún proceso cognitivo hace intervenir una única capacidad y, seguramente, cada uno de los juegos involucre otras habilidades además de las mencionadas.

***Avioncito* (control inhibitorio y flexibilidad cognitiva)**

Avioncito es una adaptación de la tarea “flor-corazón” para evaluar el control inhibitorio y la flexibilidad cognitiva en niños pequeños (Davison *et al.*, 2006). En algún lugar visible de la pantalla aparece un avioncito y el niño debe pulsar la tecla que indique su ubicación (derecha o izquierda). Esto tiene que hacerlo lo más rápidamente posible antes que se termine el breve tiempo asignado al ensayo. Los aviones pueden ser amarillos o rojos y estar orientados hacia la derecha o la izquierda. Si son amarillos, hay que elegir el lado hacia el que apunta el avión; si el avión es rojo, en cambio, hay que elegir el lado opuesto. Además, pueden aparecer distractores en la pantalla y el tiempo disponible para ejecutar la respuesta va disminuyendo según el avance del niño en el juego.

Figura 8. Videojuego *Avioncito*



Se espera que la respuesta a la aparición de un avión amarillo sea más sencilla que cuando aparezca un avión rojo porque en esta última situación se requiere una negación consciente del estímulo recibido, lo cual conlleva una mayor demanda cognitiva (MacLeod, 1991). El tiempo de respuesta del niño nos dará información sobre el nivel de dificultad: la respuesta será más lenta cuando se incremente la dificultad.

La tarea completa tiene diferentes fases en las que cambian las condiciones de presentación de los estímulos y se van incrementando progresivamente las demandas de control inhibitorio. En los primeros niveles, el avión es de color amarillo y la respuesta es correcta si se indica para qué lado vuela el avión. Los ensayos sin conflicto se llaman congruentes ya que la respuesta correcta es automática o preponderante y no requiere una alta demanda cognitiva. Una vez superados los primeros niveles, el avión pasa a ser rojo y los niños deben indicar la dirección contraria a la que vuela el avión, lo cual incrementará la dificultad y el número de errores cometidos (López-Rosenfeld *et al.*, 2013). Este tipo de ensayos inductores de conflicto se llaman incongruentes ya que se requiere suprimir la respuesta automática para ofrecer una respuesta no dominante, es decir, se necesita control inhibitorio para responder bien. Más adelante, los aviones amarillos y rojos aparecen intercalados de forma pseudoaleatoria. En esta fase del juego se deben recordar las dos reglas (la regla para el avión amarillo y la regla para el avión rojo), lo cual requiere flexibilidad cognitiva para cambiar de regla entre ensayos y seguir avanzando en el juego. Después de esta fase mixta, aparecen distractores. Primero muy distintos a los aviones, luego más parecidos. En un momento dado los aviones empiezan a aparecer también girados y esto incorpora demandas de “reversal learning” (Izquierdo *et al.*, 2017) porque hay que hacer lo opuesto a lo que se hace cuando el avión está del derecho.

Memomarote (memoria de trabajo)

Memomarote se basa en un tipo de tareas (*self-ordered tasks*) que requieren memoria de trabajo visual, pero no espacial (Petrides y Milner, 1982), es decir, se necesita memoria de reconocimiento de patrones visuales, pero no de ubicaciones espaciales.

Cada nivel consiste en un tablero con un cierto número de fichas distribuidas de forma aleatoria. Cada ficha es diferente. Puede mostrar una imagen o figura concreta, tener una forma específica, un color de fondo característico, etc. Se requieren tantas jugadas como fichas hay en el tablero para superar el nivel. El objetivo del juego es seleccionar todas las fichas que aparecen en el tablero. El niño selecciona una ficha, las fichas desaparecen y luego reaparecen en una ubicación distinta. En la siguiente jugada tiene que elegir una ficha que no haya elegido antes. El proceso continúa hasta que el niño selecciona, sin repetir, todas las fichas o hasta que comete un error. Para poder superar el nivel, el niño tiene que guiarse por las características de las fichas y no por su ubicación espacial, lo cual es un elemento distractor. Para un número pequeño de fichas, los

niños pueden intentar recordar cuáles seleccionaron y cuáles no. Pero cuando el número de fichas sea mayor y se exceda el número de ítems que la memoria de trabajo puede procesar, la resolución del problema requiere otra estrategia. Por ejemplo, agrupar u ordenar las fichas (Miller, 1956). Los atributos con los que se muestran las fichas (color de fondo, color de la sombrilla, etc.) facilitan la agrupación.

Figura 9. Videojuego *Memomarote*



Casitas (planificación)

Casitas estimula la capacidad de planificación y está basado en la tarea *dog-cat-mouse* (Klahr, 1985). Este juego utiliza un tablero que tiene tres casas pertenecientes a cada personaje de Mate Marote y caminos que conectan estos lugares. El objetivo de un nivel es llevar a cada personaje a su casa en el menor número de movimientos posibles. Cada personaje puede moverse a lo largo de los recorridos, de uno a uno, debe completar el recorrido y solo puede haber un personaje en cada casa. La dificultad del juego es variable, dependiendo del número de movimientos requeridos para completar el nivel. En los niveles iniciales se le indica al niño el número de movimientos requeridos para ganar que aumentan, de forma gradual o aleatoria, de uno a siete. En los niveles más avanzados, el niño debe descubrir por sí mismo la mínima cantidad de movimientos apropiados para cada pantalla. Este juego es diferente a otras tareas típicas de planificación en las que segmentar un problema en subproblemas de segundo orden ayuda a resolverlas. Es el caso, por ejemplo, de la Torre de Hanoi en la que siempre el objeto situado más abajo deberá ponerse en la varilla antes del que le siga, lo cual suele llevar a una solución óptima independientemente del nivel de dificultad (Simon, 1975).

Figura 10. Videojuego *Casitas*

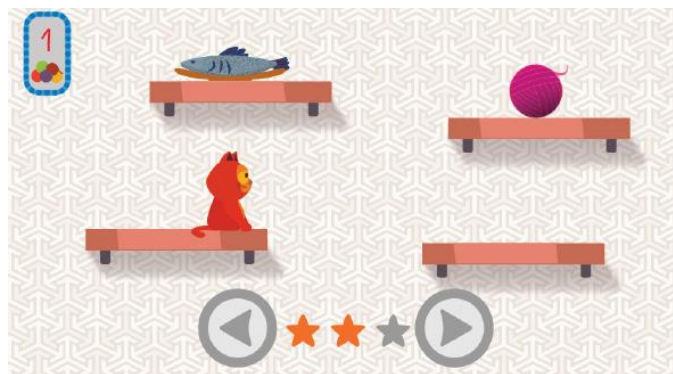


Además de los tres videojuegos anteriores, hay otros que conviene mencionar porque los hemos utilizado en nuestra investigación:

Estantes (CrazyNut)

En este juego, el gato Nubis debe ir saltando estantes hasta llegar a la zona más alta sin caerse. En el camino se pueden ir recolectando ovillos. Hay algunos estantes con estímulos que indican que no hay que pisarlos, lo que incrementa la demanda de control inhibitorio.

Figura 11. Videojuego *CrazyNut*



Lombriz (Snake)

En este juego hay que ayudar a la lombriz a que se coma todas las verduras de la tierra para hacer abono. En la parte de arriba de la pantalla se muestra el tiempo que queda para llegar a comer las verduras. La lombriz puede hacerse muy larga. En este caso hay que evitar que no choque consigo misma. También hay que evitar que coma objetos que no son compostables. Ahí aumenta la demanda de control inhibitorio.

Figura 12. Videojuego *Snake*



Lianas (Jump-Jump)

En este juego hay que alcanzar la casita del árbol, saltando de cuerda en cuerda. En el camino se pueden ir recogiendo frutas. Cada tanto hay víboras en lugar de lianas, y a esas no hay que tocarlas. Ello incrementa la demanda de control inhibitorio. Y se requiere flexibilidad cognitiva porque cada tanto las serpientes se quedan quietas unos momentos y, ahí sí, pueden tocarse.

Figura 13. Videojuego *Jump-Jump*



4.4.4 La investigación clave

Las investigaciones que utilizan Mate Marote pretenden que el entrenamiento centrado en los juegos desarrollados impacte positivamente en situaciones de la vida real de los niños participantes, especialmente en el **contexto escolar**. Si el nivel ejecutivo del niño puede predecir su desempeño en la vida real, podríamos suponer que una intervención que mejore las funciones ejecutivas afectara a su éxito académico. En el año de la publicación del estudio de Goldin *et al.* (2014), esa hipótesis nunca había sido analizada explícitamente utilizando las calificaciones escolares como medidas del rendimiento académico (Titz y Karbach, 2014). Sí que se habían realizado medidas de laboratorio relacionadas con tareas que afectan al desempeño escolar como, por ejemplo, el tiempo que tarda un niño en leer una palabra (Mackey *et al.*, 2011).

La investigación fue realizada en escuelas de Buenos Aires. En el sistema educativo argentino, los estudiantes de primer grado (equivalente a primero de Primaria en España) dedican una cantidad importante de su tiempo escolar al lenguaje y las matemáticas. La calificación de estas asignaturas se basa en gran medida en tareas objetivas y se examinan ampliamente. En cambio, en otras asignaturas (como ciencias sociales o lengua extranjera, por ejemplo), en las que también se puede esperar un beneficio del entrenamiento de las funciones ejecutivas, se dedica mucho menos tiempo escolar y se califican sobre bases mucho más arbitrarias y subjetivas.

La hipótesis principal de la investigación fue que una intervención lúdica para niños en edad escolar temprana, específicamente diseñada para mejorar aspectos de las funciones ejecutivas, debería impactar en el rendimiento académico de los estudiantes (en concreto, al menos en matemáticas y lengua). La correlación existente entre las funciones ejecutivas y los resultados académicos en la infancia, por una parte, y el sistema de calificación más confiable de las asignaturas de lenguaje y matemáticas, por otra, podrían explicar los resultados esperados. En esta intervención se quiso poner a prueba la hipótesis anterior utilizando Mate Marote en un grupo de estudiantes con bajo estatus socioeconómico o SES (del inglés, *socioeconomic status*).

4.4.4.1 El diseño experimental

En el estudio participaron 111 estudiantes (61 niños y 50 niñas) de desarrollo típico y bajo SES de cinco clases de primero de Primaria pertenecientes a dos escuelas públicas de Buenos Aires.

El diseño fue experimental de tipo pretest-postest con grupo de control activo. Los estudiantes fueron asignados al azar (emparejando los grupos con respecto al género y aula) al grupo experimental (n=73; 40 niños y 33 niñas) o al grupo de control (n=38; 21 niños y 17 niñas). Podemos hablar de una asignación pseudoaleatoria ya que se pretendió que, aproximadamente, un tercio de las niñas y un tercio de los niños en cada clase fueran asignados aleatoriamente al grupo de control y, de manera similar, los dos tercios restantes al grupo experimental.

Antes y después de la intervención (pretest y postest), se evaluó la transferencia a diferentes facetas de la función ejecutiva, incluidas las redes atencionales (test child-ANT), el control inhibitorio (test de Stroop) y la planificación (Torre de Londres), y al rendimiento escolar (calificaciones).

La intervención duró 10 semanas y se realizó en las escuelas. Los estudiantes del grupo experimental jugaron a “Casitas”, “Memomarote” y “Avioncito” (ver apartado 4.4.3), mientras que los integrantes del grupo de control jugaron a otros tres juegos con menor demanda cognitiva. El experimento consistió, idealmente, en un total de 27 sesiones de entrenamiento no consecutivas de entrenamiento repartidas entre los tres juegos. Los niños jugaron solo un juego en cada sesión que duraba 15 minutos y realizaron como máximo tres sesiones por semana. Tras las 10 semanas

se terminó la intervención, independientemente de que los estudiantes hubieran completado exactamente las 27 sesiones, lo que conllevó unas 7 horas de juego, aproximadamente.

Cada niño que jugaba estaba acompañado por un adulto que estaba allí para explicarles las reglas (la primera vez) o recordárselas (si fuera necesario). Todos los adultos asistentes y los docentes eran ciegos al diseño experimental y no sabían que se analizarían las calificaciones de los estudiantes durante el transcurso del experimento.

4.4.4.2 Discusión

En la tarea ANT infantil, el grupo entrenado mostró un tiempo de respuesta más rápido que el grupo de control después de la intervención, pero no antes. Tras la intervención, la disminución del tiempo de respuesta en el grupo entrenado fue de 181 ms, mientras que en el grupo de control fue de 88 ms. Según los autores de la investigación, esta diferencia de 100 ms es grande, comparable a la disminución espontánea del desarrollo lograda entre los 4 y los 7 años de edad.

La eficiencia en las respuestas resultó comparable en todos los ensayos para ambos grupos en el pretest y en el postest, con un porcentaje de respuestas correctas superior al 90 %. Esto indica, en principio, que la tarea resulta fácil. Aunque a pesar de un nivel de eficiencia tan alto, la comparación entre el pretest y el postest reveló que el grupo experimental incrementó la eficiencia entre el 12 y el 21 % respecto al grupo control.

De las tres redes atencionales que evalúa el test ANT, solo en la atención de orientación se encontraron diferencias debidas a Mate Marote. Los niños del grupo experimental mejoraron sus tiempos de respuesta en el postest respecto a los del pretest en todos los ensayos que jugaron. En contraposición, los niños del grupo control solo mejoraron en aquellos niveles que suministraban algún tipo de información extra sobre el lugar donde prestar atención, mientras que prácticamente no mejoraron sus tiempos cuando esa información no existía.

En el test de Stroop, al igual que ocurre en el test ANT, los tiempos de respuesta más rápidos medidos en el postest son un indicador de mejora. Aunque respecto al control inhibitorio, las comparaciones en los tiempos de respuesta solo tienen sentido cuando van acompañadas de eficiencia, es decir, no sirve si los niños responden más rápidamente, pero con más fallos.

En los niveles más sencillos, la mejora entre el grupo experimental y el grupo de control fue similar. Sin embargo, los niños que jugaron a Mate Marote tuvieron menores tiempos de respuesta en los niveles más difíciles (en torno a 100 ms), lo cual es un indicativo de la mejora de la flexibilidad cognitiva que no va acompañado de cambios significativos en el rendimiento. El número de respuestas correctas fue similar en ambos grupos.

En cuanto a la tarea TOL, no se identificó transferencia. Quizás el juego de planificación (“Casitas”) sea muy específico y solo capte una pequeña parte de los recursos generales de que evalúe la tarea TOL. O que esta fue la única tarea no computarizada que se utilizó en el estudio.

Los resultados generales de los test cognitivos demuestran que el entrenamiento con Mate Marote puede mejorar las funciones ejecutivas, aunque esta mejora no se expresa en todas sus facetas.

En lo referente a las notas escolares, fueron puestas por los docentes que, tal como mencionamos antes, eran ciegos a la experiencia. En las escuelas de Buenos Aires, el curso escolar se divide en cuatro bimestres por lo que las calificaciones se entregan cada dos meses. La intervención comenzó antes del tercer bimestre y fue completada por todos los niños antes del cierre del cuarto bimestre. Se compararon las notas del segundo y el cuarto bimestre como una medida del desempeño académico pre y postintervención, respectivamente.

Las notas de los niños mostraron una fuerte relación con su promedio de asistencia a la escuela. No se encontraron diferencias entre el grupo experimental y el grupo de control para el grupo de estudiantes de alta asistencia a la escuela. Sin embargo, en el grupo de baja asistencia, las notas de los niños que jugaron a Mate Marote fueron significativamente mayores que las del segundo bimestre, mientras que en los estudiantes del grupo de control no hubo casi variaciones entre ambos bimestres. Los niños que asistieron poco a la escuela y jugaron a Mate Marote mejoraron sus notas en matemáticas y lengua tras la intervención hasta el punto de equiparar su rendimiento escolar con el de aquellos niños que asistieron mucho a la escuela. Esto tiene muchas implicaciones educativas y sociales ya que la baja asistencia escolar correlaciona con aspectos de vulnerabilidad y menor estimulación cognitiva en el hogar. Como explican Goldin y López-Rosenfeld (2017; p. 136): “Mate Marote surge, así, como una herramienta para ayudar a facilitar el acceso igualitario a estos *nutrientes ambientales* tan importantes”.

Esta idea, en particular, y el estudio, en su globalidad, fueron los detonantes que motivaron la realización de nuestra investigación.

4.4.4.3 Deseos de réplica

El deseo inicial era replicar la investigación anterior en escuelas en España. Como analizaremos en el segundo bloque, la replicabilidad de las investigaciones constituye un factor crítico en el avance del conocimiento científico. Sin embargo, las particularidades y diferencias entre el contexto social y educativo argentino y el español, junto al tiempo transcurrido entre las dos investigaciones que requería ciertas modificaciones en los videojuegos utilizados, nos hizo pensar en una adaptación del estudio argentino con estudiantes de menor edad. Ello requería realizar la intervención en educación infantil. En España, esta etapa tiene menos limitaciones que la de Primaria, debido a que no existen las asignaturas tal como se entienden en las etapas educativas superiores. Pero, por otra parte, ello conlleva que no sean obligatorias las calificaciones, un recurso que se utilizó en el estudio de Goldin *et al.* (2014) para analizar el impacto de la intervención en cuestiones académicas concretas. Finalmente, se diseñó una investigación con el

mismo formato para realizarse en una escuela ubicada en una población cercana a Barcelona que tiene una gran diversidad en su alumnado. Se utilizarían los mismos test, juegos, grupos, asignación y las semanas de la intervención también serían las mismas. En nuestro caso, en enero, febrero y marzo del 2020. La diferencia es que se aplicaría a dos clases del curso quinto de infantil (la edad de los estudiantes era de 5 y 6 años). A pesar de la complejidad de la investigación, todo comenzó muy bien. Sin embargo, a pocas semanas de acabar la intervención, las escuelas tuvieron que cerrar debido a la aparición de la COVID-19. Los análisis estadísticos preliminares revelaron que los datos promedio de los participantes eran similares a los de otros estudios realizados con Mate Marote. Lamentablemente, estos datos pueden ser útiles para los programadores de cara a la mejora del *software*, pero no lo eran para nuestra investigación particular porque no pudimos realizar los correspondientes postest. Las restricciones en los meses siguientes nos obligaron a replantearnos la investigación y realizar varios cambios. El destino nos planteó un reto en el que teníamos que aplicar de forma adecuada (y mucho) las funciones ejecutivas. Los nuevos cambios cerrarían unas puertas, pero abrirían otras. Y la investigación, con las pertinentes adaptaciones, pudo acabar realizándose. Por supuesto, con más experiencias vividas, con todo lo que ello conlleva.

IDEAS CLAVE

- Hay muchos estudios que demuestran que el entrenamiento cognitivo puede producir mejoras en diferentes dominios cognitivos en cualquier etapa de la vida, en especial en la infancia.
- Aunque es sólida la evidencia de que el entrenamiento cognitivo produce mejoras en el rendimiento de las tareas entrenadas, sigue habiendo controversia sobre si estos beneficios pueden generalizarse a otras situaciones (transferencia).
- Se han identificado una serie de principios que son básicos para maximizar el aprendizaje de habilidades cognitivas y su posible generalización a otros dominios: dedicación, distribución de las sesiones de aprendizaje, adaptación del material, andamiaje, motivación y variedad de las actividades realizadas.
- Mate Marote es un *software* lúdico diseñado sobre la base del conocimiento neurocientífico para entrenar las funciones ejecutivas.
- En el estudio de Goldin *et al.* (2014) se comprobó que los niños que jugaron a Mate Marote pero que asistieron poco a la escuela (entornos socioeconómicos desfavorecidos) mejoraron sus notas en lengua y matemáticas luego de la intervención al punto de equiparar su rendimiento escolar con el de aquellos niños que asistieron mucho a la escuela.

II. MARCO METODOLÓGICO

CAPÍTULO 5.
Diseño y enfoque
metodológico

Capítulo 5. Diseño y enfoque metodológico

Los seres humanos somos curiosos por naturaleza y ello nos hace plantearnos continuamente el porqué de las cosas. Desde siempre hemos mostrado interés por describir, explicar, predecir e intervenir en el mundo que nos rodea. La investigación, en concreto la científica, es el instrumento que nos permite analizar las situaciones y encontrar posibles respuestas fundamentadas a los problemas planteados, lo cual es especialmente relevante en el contexto educativo. Entendemos que, hoy más que nunca, es imprescindible comprender y optimizar el aprendizaje de los estudiantes y entender cómo y por qué funciona un determinado recurso o programa educativo, por ejemplo, vinculando los conocimientos teóricos disponibles con las aplicaciones prácticas para mejorar la acción educativa. En nuestro caso particular, queremos analizar el impacto de un entrenamiento con el *software* lúdico Mate Marote sobre las funciones ejecutivas básicas y su posible transferencia al aprendizaje de cuestiones académicas concretas.

En este capítulo comenzaremos definiendo y analizando los elementos distintivos del diseño y del enfoque metodológico y luego concretaremos el proceso que hemos seguido en nuestra investigación, un ejemplo de investigación científica aplicada a la educación, con todo lo que ello conlleva.

5.1 Justificación del diseño

5.1.1 Investigación científica en educación

La **investigación** es un proceso sistemático de resolución de interrogantes y búsqueda de conocimiento que tiene unas reglas propias, es decir, un método. El **método** en una investigación es el procedimiento que se utiliza para dar respuesta a una cuestión o problema, desde la formulación de los objetivos hasta la descripción del proceso que se utiliza para alcanzarlos. Engloba el **diseño** de la investigación, el cual se centra en la forma de recoger y analizar la información necesaria para resolver el problema de la investigación (Navarro *et al.*, 2017). Un buen diseño en una investigación garantizará la fiabilidad de los resultados obtenidos. Ello requiere explicitar de forma adecuada los participantes, el contexto, las mediciones, el proceso de desarrollo y la temporización de la investigación (el *quién, dónde, qué, cómo y cuándo* del proceso, respectivamente). Asimismo, la **metodología** (etimológicamente, el estudio del método) constituye el marco conceptual de referencia que explica y justifica la forma de realizar la investigación. Es clave en el diseño y exige a los investigadores posicionarse respecto a la diversidad de opciones ontológicas y epistemológicas existentes (ver Figura 14), el objeto de la investigación y la selección de **técnicas** de recogida y análisis de la información que vayan a utilizarse (Bisquerra, 2004).

Figura 14. Diferentes niveles conceptuales en el ámbito metodológico (Ruiz Bueno, 2021)



Las capas más externas se componen de conceptos que implican y contienen a los más internos, siendo estos mucho más concretos conforme vamos profundizando en las capas del modelo.

Desde esta perspectiva, la **investigación en educación** pretende desarrollar un conocimiento científico que permita entender, explicar y mejorar los fenómenos educativos. Esto es posible utilizando estrategias fiables para obtener y analizar la información de problemas concretos, lo cual puede hacerse desde diferentes enfoques o perspectivas, aunque solo una investigación, la **investigación científica**, organizada, rigurosa y sistemática, puede garantizar la calidad del conocimiento obtenido. Asumiendo que el conocimiento científico es un sistema de ideas establecidas provisionalmente y la investigación científica es una actividad productora de nuevas ideas (Bunge, 2013). Todo ello se consigue a través del **método científico**, que no es una lista de recetas para dar con las respuestas correctas a las preguntas científicas, sino el conjunto de procedimientos por los que se plantean los problemas científicos y se ponen a prueba las hipótesis científicas. El método científico no suministra soluciones infalibles para encontrar la verdad, es decir, en ciencia no existen dogmas, una idea básica que creemos que es importante transmitir a los educadores en las investigaciones. Como explica Bunge (2013; p. 37): “La ciencia es útil en la medida en que se la emplea en la edificación de concepciones del mundo que concuerdan con los hechos, y en la medida en que crea el hábito de adoptar una actitud de libre y valiente examen, en que acostumbra a la gente a poner a prueba sus afirmaciones y a argumentar correctamente”.

Por tanto, el tipo de conocimiento que se genera al aplicar el método científico a la resolución de un problema o cuestión tiene las siguientes características (Navarro *et al.*, 2017):

-Considera que los fenómenos reales pueden dividirse en sus elementos esenciales para el análisis, conocidos como **variables de la investigación**.

- Se basa en la observación de hechos, en la experiencia y la medición de variables y no en opiniones subjetivas; es, por tanto, empírico.
- Necesita contar con fuentes o herramientas de recogida de información fiables y válidas.
- Los datos y análisis deben ser objetivos, es decir, imparciales o libres de la influencia de los propios investigadores.
- Es replicable y verificable por cualquier investigador. Se encuentra en continua revisión y avanza cuando se conocen nuevos datos y teorías.
- No hay una seguridad absoluta sobre si se ha alcanzado la verdad, las conclusiones son provisionales. Nuevas investigaciones pueden reformular esas conclusiones.
- Tiene un lenguaje específico y común para todos los que lo utilizan y así facilitar su comprensión.

El método científico mezcla dos tipos de razonamiento para producir el conocimiento científico: la inducción y la deducción (Hyde, 2000). El método inductivo busca formular leyes o establecer teorías a partir de la observación de la realidad. Se estudian sistemáticamente casos individuales y se generalizan estas observaciones. Mientras que el método deductivo tiene como objetivo el diseño de experimentos para probar teorías. En este caso, se pasa de lo universal, o general, a lo particular y real. Se parte de una teoría o ley general con el objetivo de ampliarla o contrastarla con la realidad deduciendo unas consecuencias lógicas.

La aplicación del método científico, con una gran tradición en la investigación de las ciencias exactas y naturales, ha recibido críticas cuando se aplica al estudio de las ciencias sociales y la educación (por ejemplo, Sabariego, 2004):

- El reduccionismo aplicado en el ámbito educativo sacrifica el estudio de cuestiones no necesariamente observables como las políticas, sociales o culturales que son básicas en la acción educativa.
- Los fenómenos sociales y humanos son complejos, variables y dependientes del contexto, lo cual imposibilita la pretendida objetividad en las investigaciones y la obtención de explicaciones universales sobre la realidad educativa.
- Los estudios tienen poca validez ecológica. La información obtenida tiene poca incidencia en la mejora de la realidad educativa ya que las investigaciones se realizan en contextos específicos que son difíciles de trasladar a otras aulas o centros educativos.
- Se fomenta la separación entre la teoría y la práctica ya que los investigadores son los que producen el conocimiento y los educadores quienes han de aplicarlo.

De todas formas, estas críticas no pueden invalidar el paradigma positivista⁶ que incorpora el método científico, ya que ha contribuido al avance de la investigación básica en el ámbito educativo. La dificultad en educación para encontrar respuestas válidas y aplicables a todos los contextos, tal como ocurre en las ciencias experimentales, hizo que surgieran otros enfoques o modalidades de investigación en el ámbito educativo, tal como analizaremos en el apartado 5.2 sobre el enfoque metodológico.

5.1.2 El reto de la replicabilidad

Una característica básica del método científico es la **replicabilidad**, es decir, la capacidad para reproducir los resultados de una investigación inicial por parte de investigadores que analizan la misma información con el mismo procedimiento (Nosek *et al.*, 2022). Constituye uno de los criterios utilizados en la investigación científica para garantizar la validez del conocimiento. Ese es nuestro caso particular, ya que utilizamos el *software* Mate Marote en escuelas españolas para analizar su impacto en el entrenamiento sobre las funciones ejecutivas, el mismo que fue utilizado en los diferentes estudios del grupo de investigación de Andrea Goldin en escuelas argentinas y uruguayas (Nin, Goldin y Carboni, 2019). Asumiendo que no puede existir una réplica exacta ya que incluso los diseños de investigación más parecidos al original tendrán diferencias inevitables en lo referente a la muestra, los entornos, los tratamientos y los resultados. Es por ello que cada réplica de un estudio es una prueba de generalización, pero lo contrario no es cierto (Nosek y Errington 2020).

Lamentablemente, la tasa de replicabilidad de las investigaciones en algunas disciplinas científicas es baja. En particular, hace poco tiempo se realizó un proyecto en el que se cuantificó la replicabilidad en el campo de la psicología de cien investigaciones extraídas aleatoriamente de tres revistas prestigiosas. De los cien estudios originales, noventa y siete dieron resultados estadísticamente significativos (p menor que 0,05; ver apartado 6.4.2). Sin embargo, en solo un 36 % el intento de réplica consiguió este nivel de significación estadística. Además, la magnitud del efecto de las réplicas fue la mitad de lo observado en los estudios originales (Open Science Collaboration, 2015).

⁶ El paradigma positivista (también llamado paradigma cuantitativo o empírico-analista) tiene como objetivo explicar, controlar, predecir fenómenos y verificar leyes y teorías (Sabariego, 2004). La aparición del positivismo (Auguste Comte, 1798-1857) propició la aplicación de la metodología científica, ampliamente utilizada en las ciencias naturales, en los fenómenos sociales.

Según Quintanal y García (2012), para facilitar la replicabilidad de las investigaciones y garantizar su fiabilidad, hay que especificar todos los datos necesarios al redactar los informes definitivos de las investigaciones, siendo imprescindible una descripción detallada de al menos:

- Participantes en la investigación: muestra utilizada para desarrollar el trabajo de investigación.
- Procedimiento: se explicitan las variables implicadas y la forma en que fueron manipuladas, así como los instrumentos de medida empleados y el procedimiento detallado a seguir para la recogida de datos.
- Análisis de datos: se especifica el tratamiento estadístico aplicado a los datos obtenidos.

Junto a esto, algunas de las causas identificadas que pueden dificultar la replicabilidad de los estudios son los factores individuales (los investigadores pueden llegar a ser víctimas del sesgo de confirmación y centrarse solo en confirmaciones positivas de las hipótesis), la toma de decisiones de los investigadores o la mayor aceptación de algunas revistas por la publicación de estudios novedosos. Además, los estudios que son más difíciles de replicar tienden a ser más citados que los replicables (Serra-García y Gneezy, 2021).

En este sentido, la utilización de procedimientos matemáticos más sofisticados en el análisis de los datos, como los de las estadísticas bayesianas⁷, se presenta como una alternativa para remediar el sesgo en contra de publicaciones de resultados no significativos. También resulta necesario para el avance de la investigación que la replicabilidad se base en varios estudios, un análisis riguroso de las diversas influencias en los tamaños del efecto de los metaanálisis y una divulgación más completa de los hallazgos, sean estadísticamente significativos o no (Shrout y Rodgers, 2018).

⁷ Dado un cierto fenómeno del que queremos saber (A), y una observación (X) que es un dato con respecto a A , el teorema de Bayes nos dice, a través de una ecuación matemática que relaciona probabilidades condicionales, cuánto hemos de actualizar nuestro conocimiento de A , teniendo en cuenta el nuevo dato X . El marco estadístico bayesiano está ganando mucha popularidad entre los científicos por razones como la fiabilidad y la precisión (particularmente en muestras pequeñas), la posibilidad de incorporar conocimientos previos al análisis y la interpretación intuitiva de los resultados.

En síntesis, la replicabilidad de las investigaciones es difícil, pero necesaria para garantizar la validez del conocimiento y la credibilidad de una disciplina. En nuestro caso, tal como mencionamos en la introducción, la investigación partió del deseo de replicar el estudio de Goldin et al. (2014) en escuelas argentinas con estudiantes de entornos desfavorecidos. Aunque asumimos que no podía tratarse de una réplica directa ya que consideramos que los videojuegos diseñados eran más adecuados para estudiantes de educación infantil que no de Primaria. Ello conllevó tener que utilizar una estrategia diferente para obtener información sobre el rendimiento académico de los estudiantes (informes vs calificaciones). Por otra parte, desde el inicio nos planteamos que los entornos de pobreza tienen matices diferentes en Argentina que en España debido a las particularidades socioeconómicas de cada país. Sin olvidar las circunstancias distintas en las aulas de las escuelas públicas argentinas frente a las de las escuelas españolas, en general. Y, en particular, el contexto de cada escuela es diferente, lo cual comprobamos en nuestra investigación. La ubicación, los espacios, el perfil de los estudiantes..., pueden condicionar la forma de trabajar. Durante la intervención pudimos comprobar que, en general, el ambiente fue más relajado en la Escuela 1 que en la Escuela 2 (escuelas de los grupos experimentales; ver apartado 5.5), lo que conllevó una menor participación de los adultos asistentes.

5.2 Enfoque metodológico

Un **enfoque** es un conjunto de prácticas que se utilizan en la investigación para resolver las cuestiones planteadas. Implica la elección de procedimientos, técnicas e instrumentos para la observación de hechos y la recogida de información y de ciertas normas para su tratamiento (Rodríguez, 2003).

Los enfoques y los paradigmas hacen referencia a distintos aspectos del proceso de la investigación. Los **paradigmas** están asociados con los compromisos que los investigadores adquieren con ciertos conceptos, métodos y teorías, mientras que los enfoques hacen referencia a la parte heurística de los paradigmas, es decir, a la elección y aplicación del método. Según Kuhn (1971), los paradigmas son realizaciones científicas universalmente reconocidas que, durante cierto tiempo, proporcionan modelos de problemas y soluciones a una comunidad científica.

El enfoque de investigación no debe confundirse con el **diseño**, que describe el proceso de recogida y análisis de información, tal como comentamos anteriormente; o con una **técnica**, que es un procedimiento específico de recogida de información.

En función del carácter de la medida empleada para desarrollar las investigaciones, la investigación actual transita entre el enfoque cuantitativo y el cualitativo (Navarro *et al.*, 2017). Simplificando un poco, la **investigación cuantitativa** se centra en la medida y cuantificación de variables y en el análisis estadístico. Además, el investigador observa desde una posición externa aquello que pretende estudiar con una pretensión lo más objetiva y analítica posible. Mientras que la investigación cualitativa está orientada a la interpretación de los significados de las acciones humanas y sociales. En este caso el investigador participa activamente de la realidad que pretende estudiar, lo cual conlleva una mayor subjetividad en la obtención de conclusiones (Quintanal y García, 2012).

Para nuestra investigación, en consonancia con los objetivos y las hipótesis planteadas en la introducción, y bajo el marco de un paradigma positivista, se considera necesario seguir el enfoque cuantitativo. Desde la perspectiva conceptual de una investigación educativa, el enfoque cuantitativo pretende explicar la cuestión estudiada intentando establecer leyes generales que puedan explicar los fenómenos educativos y ser transferidos a otros contextos, mientras que el enfoque cualitativo pretende entender la realidad educativa analizada para transformarla desde la práctica. Desde la perspectiva metodológica, el enfoque cuantitativo pretende explicar y predecir la realidad que nos viene dada utilizando instrumentos muy estructurados y estandarizados, como test y cuestionarios, y técnicas estadísticas para la medición de muestras, el análisis de datos y la generalización de resultados. Mientras que el enfoque cualitativo considera que la realidad es dinámica, por lo que se centra en la descripción, comprensión e interpretación de las personas que la viven. Para recoger información utiliza instrumentos poco estructurados, como guías de observación, entrevistas, talleres, etc. Aunque en el enfoque cualitativo también pueden utilizarse instrumentos cuantitativos para estudiar algunas cuestiones educativas que suelen complementar la información cualitativa (ver tabla 4).

Tabla 4. Diferencias entre el enfoque cuantitativo y el enfoque cualitativo a través de cinco criterios de comparación (Rodríguez, 2003)

Criterios	Enfoque cuantitativo	Enfoque cualitativo
Objetos de estudio	Fenómenos objetivos, observables, susceptibles de medición y análisis estadístico	Hechos subjetivos relativos a la comprensión del significado de las acciones humanas
Técnicas	Técnicas estadísticas para definición de muestras, análisis de datos y generalización de resultados	Observación participante y análisis
Instrumentos	Instrumentos estructurados y estandarizados: escalas, cuestionarios, test, etc.	Instrumentos poco o no estructurados: guías de observación, entrevistas, grupos de discusión, etc.
Control del proceso	Criterios de validez y confiabilidad en instrumentos y procedimientos	Triangulación de técnicas, instrumentos, fuentes y observadores
Procedimientos	Diseños experimentales y ex post facto. Predefinidos y cerrados	Diseños abiertos, flexibles y emergentes. No sujetos a reglas fijas

A diferencia de lo que ocurre en otras disciplinas, como la física o la biología, en educación no todos los fenómenos pueden separarse en aspectos cuantitativos. Es por ello que la utilización del método científico en la resolución de problemas educativos se considera solo una aproximación. En la práctica, no tiene sentido en la investigación educativa hablar de ventajas de un enfoque respecto del otro. Todo dependerá del tipo de problema que se quiera estudiar y de los objetivos de la investigación.

5.3 La investigación cuantitativa: métodos y diseños

Las investigaciones cuantitativas se desarrollan a partir de dos tipos de métodos: el **método experimental** y el método no experimental (Creswell y Creswell, 2018). La elección de un método u otro depende del tipo de variables con las que se trabaja. Nos podremos decantar por el método experimental si las **variables** (independientes) se pueden manipular, ya que expresan hechos que se manifiestan en el presente. La finalidad del método experimental es llegar a comprobar la existencia de relaciones causa-efecto entre las variables implicadas en la investigación. En un experimento, el investigador construye de forma intencionada una situación a la que se exponen los participantes, aplicando algún tipo de tratamiento o intervención, para luego evaluar los efectos de esa exposición. Simplificando, podemos decir que se construye un contexto o realidad. Por el contrario, en un diseño no experimental no existe experimento o tratamiento, es decir, las investigaciones no experimentales se realizan sin la manipulación

deliberada de variables independientes, observando fenómenos en su contexto natural para analizarlos.

Conviene recalcar que tanto la investigación experimental como la no experimental son herramientas muy valiosas y no podemos decir que una sea mejor que la otra. La investigación no experimental puede ser apropiada para variables cuya manipulación es compleja (factores genéticos, p. ej.), no pueden ser manipuladas (rasgos de la personalidad, p. ej.) o no deben ser manipuladas por cuestiones éticas (agresiones físicas, p. ej.).

El diseño elegido en los estudios depende del problema que se quiera resolver y del contexto de la investigación. Asimismo, es posible utilizar más de un diseño.

Según el grado de cumplimiento de los supuestos de la experimentación⁸, existen diferentes tipos de diseños cuantitativos que pueden utilizarse en las investigaciones (Campbell y Stanley, 1963; Cook y Campbell, 1979): no experimentales, experimentales puros, cuasiexperimentales y preexperimentales. Básicamente, la diferenciación entre los tipos de diseño depende de los siguientes factores:

1. Si se realiza algún tipo de intervención durante el proceso de investigación (manipulación de la **variable independiente**).
2. Número de grupos utilizados para realizar la comparación de los resultados (**grupo experimental** y **grupo de control**) y de la distribución de los participantes en los grupos de la intervención (**asignación aleatoria** o no).
3. Número de mediciones de las variables de estudio (**variables dependientes**).
4. Control de variables extrañas que puedan afectar a la relación entre la variable independiente y la variable dependiente (**validez interna**).
5. Posibilidad de generalización de los resultados de la investigación a otros contextos (**validez externa**).

Mencionemos, a continuación, las características esenciales de los diseños experimentales (preexperimentales, cuasiexperimentales y experimentales puros; ver tabla 5), como paso previo al análisis del diseño desarrollado en nuestra investigación.

⁸ Existe una gran diversidad de diseños de investigación en la metodología cuantitativa. Según Cea D'Ancona (2012), existen tres clasificaciones principales que atienden a diferentes criterios: los objetivos de la investigación (diseños exploratorios, descriptivos, explicativos, predictivos y evaluativos), el tratamiento de la variable tiempo (transversales y longitudinales) y el cumplimiento de los supuestos de la experimentación (diseños preexperimentales, cuasiexperimentales y experimentales).

5.3.1 Diseños preexperimentales

Son diseños con un único grupo formulados para establecer algún tipo de asociación entre dos o más variables buscando relaciones estadísticas entre ellas (coeficientes de correlación y/o covarianza, etc.). Existen dos básicos (Cohen, Manion y Morrison, 2018): el estudio de caso con una sola medición y el diseño de pretest/posttest con un solo grupo. Los preexperimentos se denominan así porque su grado de control es mínimo ya que no se cumplen los requisitos de la experimentación: medición antes y después de la intervención, existencia de al menos un grupo de control y asignación aleatoria en la formación de grupos. Si no existe ninguna medición previa es difícil obtener relaciones causales.

5.3.2 Diseños cuasiexperimentales

Este tipo de diseño busca establecer relaciones causales entre la variable independiente y la dependiente. Pero, a diferencia de los diseños experimentales, en los diseños cuasi experimentales no se produce una asignación aleatoria de los participantes a las condiciones de experimentación, por lo que suelen darse en contextos reales, como los educativos, y no en el laboratorio. En las escuelas los grupos ya están formados y será difícil cambiarlos para aplicar las intervenciones. Cuando esto ocurra, la asignación aleatoria no será posible. No obstante, esto puede provocar diferencias iniciales entre los grupos formados, por lo que se deberán diseñar estrategias para controlar este efecto. Por ejemplo, utilizando técnicas de análisis multivariable mediante un control a posteriori, es decir, no cuando se diseña la investigación (como en el diseño experimental) sino en la fase de análisis. Este tipo de diseños suelen gozar de grados medios de validez, tanto interna como externa (Quintanal y García, 2012).

5.3.3 Diseños experimentales (puros)

Constituye la forma más rigurosa de aplicación del método científico. Este tipo de diseños se caracterizan por el máximo control de posibles fuentes de invalidación (variables extrañas) de la investigación mediante (Cea D'Ancona, 2012):

-Manipulación experimental: el investigador manipula las variables (**variables independientes**) que pueden afectar al fenómeno que se estudia antes de la recogida de información (**variables dependientes**). La variable independiente es la que, a priori, se considera como supuesta causa en una relación entre variables, y el efecto provocado por dicha causa puede medirse sobre la variable dependiente.

-Formación de **grupos de control** totalmente equivalentes al grupo experimental al inicio (los grupos son similares al iniciarse el experimento, al menos en variables que son consideradas fundamentales para el estudio) y durante el desarrollo del experimento, salvo en lo que respecta

a la manipulación de las variables independientes (una o más). Debe haber al menos dos grupos para comparar. Si solo tuviéramos uno no sería posible saber con certeza si pudieron influir causas ajenas a la variable independiente manipulada.

-**Asignación aleatoria** de los participantes a los grupos experimental y de control (o **pseudoaleatoria**, respetando proporciones de factores que podrían ser relevantes, como género o edad, tal como hicimos en nuestra investigación). Es una técnica de control que da la seguridad al investigador de que variables extrañas no afectarán de forma sistemática los resultados ya que se distribuyen, aproximadamente, de la misma forma en los distintos grupos del estudio.

Esta es la única forma de proceder si queremos que nuestra investigación tenga una gran validez interna, es decir, una mayor seguridad en la relación causa-efecto buscada. Aunque ello suponga una disminución de la validez externa debido a la manipulación experimental y a la muestra. La necesidad de control propicia experimentos en entornos artificiales, con grupos pequeños o que no son lo más representativos posibles de la población de estudio.

Dentro de los diseños experimentales es posible distinguir entre los que solo manipulan una única variable independiente (**diseños simples**) y los que manipulan más de una, simultáneamente (**diseños factoriales**). En todos los casos se intenta identificar si dichas variables independientes tienen un efecto sobre la variable dependiente. A través de un diseño factorial se estudia el efecto de cada una de las variables por separado y también se pueden analizar los efectos de las interacciones entre las distintas modalidades de las intervenciones (Pardo y San Martín, 2010). Por ejemplo, una investigación puede analizar los efectos de dos metodologías distintas (clase magistral vs *flipped learning*) sobre los resultados académicos de los estudiantes y la duración de las clases (1 hora o 2 horas). En este estudio podremos averiguar si una metodología produce mejores resultados que la otra y también si esos resultados dependen de la duración de las clases.

Uno de los diseños experimentales más usados es el diseño con pretest-postest y grupo de control. Incluye la asignación aleatoria de los participantes al grupo que recibe el tratamiento o intervención (grupo experimental) y al que no (grupo de control), además de la medición simultánea de la variable dependiente para cada uno de los grupos antes (**pretest**) y después (**postest**) de la aplicación del tratamiento. Como consecuencia de ello, las diferencias observadas en los valores de la variable dependiente entre la primera y la segunda medición pueden atribuirse al efecto del tratamiento (variable independiente). La administración de las pruebas queda controlada, porque si el pretest afectara a las puntuaciones del postest, lo haría de forma parecida en los dos grupos. Además, la comparación de los pretest del grupo experimental y de control permite evaluar el grado de adecuación de la asignación aleatoria, lo cual es conveniente en grupos pequeños. Si los grupos son numerosos, no hemos de esperar grandes diferencias si se han formado al azar (Mertens, 2019).

Un inconveniente del pretest es que los participantes pueden percibir la finalidad de la investigación y modificar su conducta. Ahí entra el ingenio del investigador para enmascarar todo lo posible el objetivo del estudio para que su conocimiento no provoque efectos no deseados en la respuesta de los integrantes del grupo experimental. Esta cuestión ya la analizamos en el capítulo 4 y, ciertamente, es muy importante. En la práctica, se utiliza el **doblo ciego** en los diseños para que los resultados de la investigación no se vean afectados por los participantes (efecto placebo) ni por los propios experimentadores (efecto observador), en nuestro caso los adultos que acompañaron a los niños durante la intervención. Aunque hay que asumir que esto será más complicado en una intervención conductual que en un experimento médico con pastillas, por ejemplo (Green *et al.*, 2019).

Finalmente, conviene remarcar que es posible extender el diseño experimental para incluir más de dos grupos. Por ejemplo, pueden tenerse diversos tratamientos experimentales o niveles de manipulación y un grupo de control, que es lo que nosotros hemos hecho en la práctica.

Tabla 5. Diseños experimentales según el grado de control (Salkind, 2012)

Control	Diseño preexperimental	Diseño cuasiexperimental	Diseño experimental verdadero
¿Presencia de un grupo de control?	En algunos casos, pero normalmente NO	A menudo	Siempre
¿Asignación aleatoria de una población?	NO	NO	SÍ
¿Asignación aleatoria de sujetos a grupos?	NO	NO	SÍ
¿Asignación aleatoria de tratamientos a grupos?	NO	NO	SÍ
Grado de control sobre las variables extrañas	Ninguno	Algo	SÍ

5.4 El diseño de la investigación

En nuestra investigación hemos utilizado un diseño experimental cuantitativo con ciertos matices diferenciadores. Es un diseño de tipo pretest-posttest con grupo de control con las siguientes condiciones:

- Asignación pseudoaleatoria de los participantes a uno de los dos grupos experimentales, pero no al grupo de control.
- Se aplica a cada grupo un pretest sobre las variables dependientes (funciones ejecutivas y atención).
- Se aplica la intervención (Mate Marote) a los dos grupos experimentales.

-Cada grupo es sometido a un postest sobre las variables dependientes para luego analizar los resultados.

En nuestro caso, los participantes fueron 83 estudiantes (46 niñas y 37 niños) de 4 años de edad (M=53,3 meses, SD=3,6 meses) del aula de cuatro años del segundo ciclo de educación infantil de tres escuelas públicas pertenecientes a tres poblaciones distintas de la provincia de Málaga.

Los estudiantes que conformaron el grupo de control pertenecían a dos clases de la Escuela 3 (n=39; 19 niñas y 20 niños), mientras que los estudiantes de las otras dos escuelas fueron asignados de forma aleatoria a uno de dos grupos experimentales existentes: grupo S (por sinergia) y grupo CI (por control inhibitorio). Los integrantes de los grupos experimentales (n=44; 27 niñas y 17 niños; ver distribución concreta en el apartado 5.5) formaron parte del entrenamiento de las funciones ejecutivas a través del *software* Mate Marote, aunque con ciertos matices. Mientras que los integrantes del grupo CI jugaron a videojuegos que permiten trabajar mayormente el control inhibitorio, los del grupo S jugaron a videojuegos diseñados para trabajar también la memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva (de ahí lo de sinergia). Los dos grupos experimentales jugaron en algunas sesiones a los juegos *Avioncito* y *Estantes*. Sin embargo, en el resto de sesiones (luego se muestra la distribución en la tabla 6), el grupo CI jugó a *Lombriz* y *Lianas*, mientras que el grupo S jugó a *Memomarote* y *Nback*. Esto constituye una importante innovación con respecto a las investigaciones realizadas hasta la fecha sobre funciones ejecutivas en la infancia que no suelen analizar el impacto que puede lograrse afectando distintos componentes de la cognición en simultáneo.

La asignación a los dos grupos experimentales se hizo de forma *pseudoaleatoria* para preservar que el número de integrantes por género fuera similar en cada uno de los dos grupos (ver apartado 5.5). Hacer que el número de niñas y niños sea parecido en cada uno de los grupos es imprescindible para combatir el sesgo de género (Beery y Zucker, 2011). El objetivo de la heterogeneidad de la muestra es que pueda ser representativa de la diversidad social y facilitar su generalización a toda la población.

La intervención se adecuó a las particularidades del calendario escolar en España, en donde se inicia el curso académico a mitad de septiembre. Duró 7 semanas, desde la semana del 18 de octubre del 2021 hasta la primera semana de diciembre del mismo año (ver Figura 15). Los participantes jugaron dos o tres veces por semana (según necesidades de cada escuela) durante 15 minutos, como máximo cada vez, por lo general en días no consecutivos. A lo que hay que añadir los días destinados a la habituación, pretest y postest que explicamos luego. En concreto, en la Escuela 1, el inicio fue el 13 de octubre del 2021 y el final el 10 de diciembre del 2021. En la Escuela 2, el inicio fue el 14 de octubre y el final el 14 de diciembre del 2021. Mientras que, en la Escuela 3, el pretest se inició el 19 de octubre y el postest acabó el 14 de diciembre del 2021.

Figura 15. Calendario de la intervención

Octubre 2021

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31

Noviembre 2021

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30					

Diciembre 2021

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

Inicialmente, se dedicaron dos días en las tres escuelas para que los niños se habituaran a la plataforma y a todo lo que conlleva su funcionamiento. La duración de cada sesión fue de 15 minutos, como máximo, y este fue también el tiempo límite que se marcó en los días posteriores para los juegos de Mate Marote.

La habituación se hizo utilizando un juego de entrenamiento (*Fantasmitas*) que tiene dos versiones. En la primera, se ha de indicar si dos fantasmas son iguales, y en la segunda hay que elegir, entre dos fantasmas, cual tiene la misma forma que un tercero. A pesar de la edad de los niños (4 años, en promedio) se adaptaron muy fácilmente al funcionamiento del ratón y a las instrucciones dadas en la pantalla.

Tras la fase de habituación, se dedicaron dos días a los pretest. Los participantes fueron evaluados uno o dos días antes de comenzar la intervención (pretest) y uno o dos días después de acabarla (postest) para analizar si el aprendizaje de los distintos juegos mejora las funciones ejecutivas y genera transferencia a otros dominios cognitivos.

En lo referente a la evaluación de las funciones ejecutivas, en el pretest y el postest se utilizaron dos versiones distintas (para evitar la habituación y minimizar el efecto test-retest) de cuatro pruebas estándar computarizadas, en formato lúdico: el test child ANT, el test de Stroop corazón-flor, el test de Corsi, junto al test TONI-4. Estos test se explican en el apartado 6.2.

El primer día dedicado al pretest los niños realizaron el test ANT y el test TONI, mientras que el segundo día completaron el test de Stroop y el test de Corsi. En promedio, en 20 minutos, aproximadamente. Tanto en el test ANT como el test de Stroop todos los niños utilizaron dos teclas del ordenador señalizadas (izquierda y derecha), mientras que en los otros test y durante la intervención utilizaron el ratón. El test ANT y el test de Stroop son más largos, aunque se utilizó una versión reducida de los mismos debido a la corta edad de los participantes. En las transiciones de cada uno de los bloques que hay en ambos test, se les ofreció a los niños hacer un pequeño patrón, por si estaban cansados, pero la gran mayoría quiso continuar.

Tras la fase de evaluación inicial, comenzó la fase de entrenamiento con Mate Marote. Tal como mencionamos antes, los participantes jugaron, por lo general, dos o tres veces por semana durante 15 minutos, como máximo cada vez, en días no consecutivos. El número de sesiones de juego fue 14.

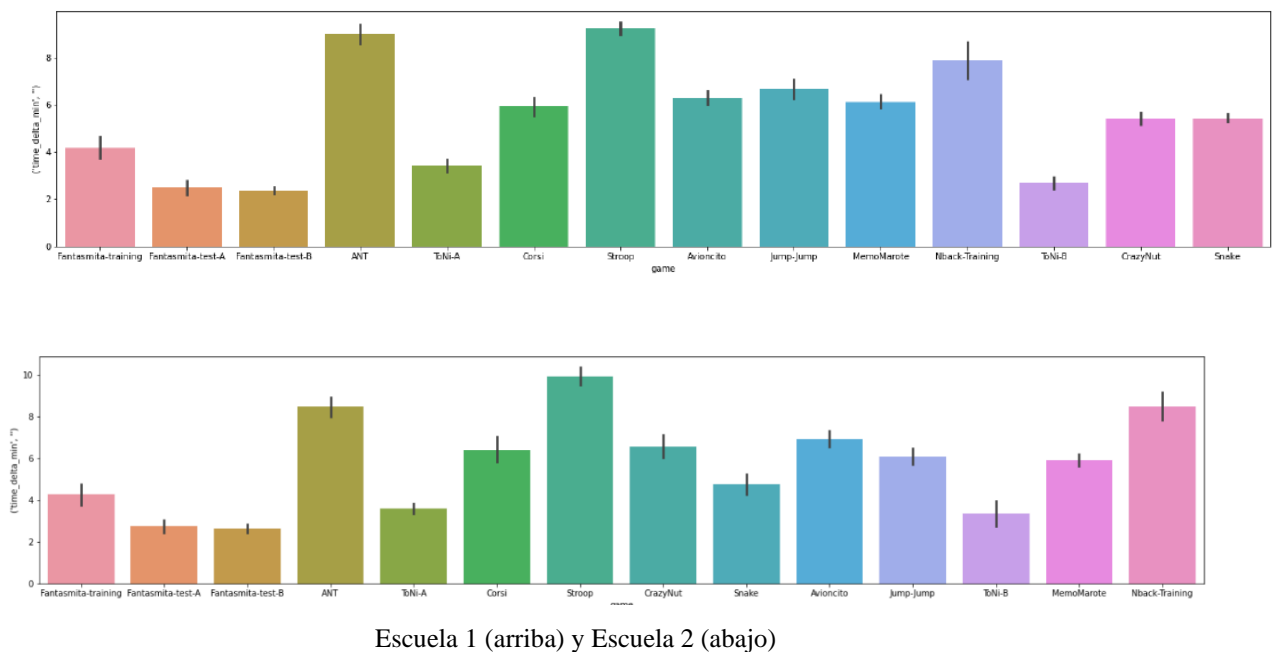
El horario de las sesiones de juego era por las mañanas y se mantuvo constante para cada una de las escuelas. El orden de los juegos es el que aparece en la tabla 6. Los niños jugaron en cada sesión de entrenamiento a dos juegos distintos, cuyo orden se fue invirtiendo para evitar posibles situaciones de aburrimiento que, por otra parte, no se dieron en ningún momento de la intervención. Una vez acabada la fase de entrenamiento, se realizaron los postest con el mismo orden utilizado en las tareas durante el pretest, pero en dos días. También se hizo una sesión de habituación antes del postest, tanto en los grupos experimentales como en el grupo de control.

Tabla 6. Distribución de los test y los juegos durante la intervención

Habitación y pretest	Entrenamiento grupo CI	Entrenamiento grupo S	Habitación y posttest
Fantasmitas training	Lianas + Lombriz	Avioncito + Estantes	Fantasmitas A y B Test ANT
Fantasmitas training Fantasmitas A y B	Estantes + Avioncito	Memomarote + Nback	Test TONI-4 Test de Stroop Test de Corsi
Test Ant Test TONI-4	Lombriz + Lianas	Estantes + Avioncito	
Test de Stroop Test de Corsi	Avioncito + Estantes (y continúa el ciclo)	Memomarote + Nback (y continúa el ciclo)	

En la Figura 16 se muestra el tiempo invertido, en promedio, en todas las tareas que realizaron los estudiantes de las dos escuelas que formaron parte de los grupos experimentales.

Figura 16. Tiempo invertido en las tareas realizadas por los estudiantes de las escuelas durante la intervención



Escuela 1 (arriba) y Escuela 2 (abajo)

Tanto en la Escuela 1 como en la 2 se habilitó una sala cercana al aula de los estudiantes en la que estaban los ordenadores que utilizaron durante el entrenamiento. Era una sala que ya conocían y que utilizaban para otras tareas escolares. Los ordenadores estaban separados por mesas independientes y tenían sus correspondientes auriculares. Cada niño tenía su tarjeta con el nombre de usuario y la contraseña que le permitían entrar en la plataforma creada específicamente para la investigación. Recordemos que Mate Marote es una plataforma online de videojuegos de libre acceso y que para la presente investigación se crearon los correspondientes flujos de juego (*gameflows*) en los que se encontraban los juegos (también los de habituación, pretest y postest) que permitían registrar la evolución de cada niño.

Los estudiantes jugaron en grupos de 6, aproximadamente, y siempre hubo en la sala entre 3 y 4 adultos asistentes, entre los que estaba la maestra del grupo y un asesor del CEP de Marbella-Coín (o yo mismo), por si había algún problema informático o con la plataforma (ver Figura 17). Entre los adultos acompañantes había estudiantes de pedagogía y psicología en prácticas que iban turnando su asistencia a las escuelas según su disponibilidad. Tanto las asistentes como las maestras eran ciegas al diseño experimental (también las asesoras). Desconocían la existencia de los diferentes grupos y solo se les dijo que queríamos analizar el impacto de los juegos sobre algunas habilidades cognitivas. Esto es muy importante ya que, tal como mencionamos en el capítulo 4, un requisito imprescindible para que la investigación se desarrolle bien y sea lo más objetiva posible es que los resultados no se van afectados por los sesgos de los adultos experimentadores al conocer los detalles de la investigación.

Figura 17. Imágenes de las salas acondicionadas para la intervención en las tres escuelas



En el inicio de la intervención, los asistentes tenían la función de explicarles a cada niño las reglas de los juegos y recordárselas si fuera necesario. Unos días antes del inicio de la intervención, se les explicó cómo gestionar las cuestiones logísticas, la forma de explicar las instrucciones a los niños y cómo ayudarles en caso de que necesitaran ayuda.

Durante las sesiones de entrenamiento se les invitó a los niños a jugar y disfrutar de la experiencia. Cuando iban a la sala de los ordenadores sabían que lo hacían para ejercitar el cerebro, esa era su “misión”. No se les obligó en ningún momento. Llegaban a la sala y, debido a la corta edad de los niños, el adulto acompañante les escribía su nombre de usuario y la contraseña para entrar en la plataforma. Una vez dentro, los niños aprendieron rápido el formato visual del *gameflow* y entendieron qué juego les correspondía cada día.

En la práctica diaria comprobamos que todos los niños se divirtieron jugando y se generó rápidamente un fantástico vínculo con los adultos acompañantes. Esto es imprescindible en cualquier investigación y necesario desde un enfoque neuroeducativo.

Especialmente relevantes a la hora de reportar un experimento en una publicación son las técnicas o procedimientos respecto de tres áreas concretas: la selección de los participantes, la recogida de información y el análisis de la información. Las analizamos a continuación en un apartado y dos capítulos específicos.

5.5 Participantes

Antes de comentar cuestiones concretas sobre los participantes de nuestra investigación, conviene aclarar algunos conceptos que aparecen con frecuencia en las publicaciones y se mencionarán también en este documento.

Se entiende por **universo** el conjunto de individuos objeto de nuestro interés o estudio. La **población** es el conjunto de datos de una característica medida en cada individuo del universo. De esta forma, asociado a un mismo universo se podrán tener varias poblaciones. Para distinguir una población de otra denominaremos **variable** a cada una de estas características (variable género, estatus socioeconómico, memoria de trabajo, etc.), es decir, los diferentes valores que toma una característica se denominan variable. Y por **muestra** se entiende cualquier subconjunto de la población (Rustom *et al.*, 2012). En nuestra ruta cuantitativa, sobre la muestra se recogerán los datos pertinentes y, además, deberá ser representativa de la población para que podamos generalizar los resultados encontrados en la muestra a la población, tal como analizaremos en el apartado siguiente.

Existen diferentes formas de elegir una muestra. Por un lado, hay muestras dirigidas en las que la selección de los individuos de la población se efectúa según los intereses del investigador (muestreo no probabilístico). Suponen un procedimiento de selección orientado por las características y contexto de la investigación, más que por un criterio estadístico de generalización. Y, en el lado opuesto, hay muestras aleatorias, que tienen validez estadística, en las que los individuos son seleccionados por procedimientos regidos por el azar (muestreo probabilístico).

Sabemos que no existe la “muestra perfecta” ya que la muestra elegida solo analizará una parte de la población y solo constituirá una de las posibles muestras que pueden extraerse de una misma población. Lo óptimo de una muestra depende de cuánto se aproxima su distribución a la distribución de las características de la población. Esta aproximación mejora al incrementarse el tamaño de la muestra. En la práctica, la mayoría de las pruebas estadísticas exigen 15 casos como mínimo por grupo de comparación (Mertens, 2019).

En nuestra investigación han participado un total de 83 estudiantes de 4 años de edad ($M=53,3$ meses y $SD=3,6$ meses), 46 niñas (55 %) y 37 niños (45 %). Estos 83 estudiantes pertenecen a tres escuelas públicas ubicadas en tres municipios cercanos de la provincia de Málaga, en España: Escuela 1 (23), Escuela 2 (21) y Escuela 3 (39).

Todos los estudiantes pertenecen al cuarto curso del segundo ciclo de la etapa de infantil, que ya forma parte de la educación obligatoria. En España, la escolarización es casi completa en el segundo ciclo de Infantil, con porcentajes por encima del 96% en todas las edades. Mientras que en el primer ciclo de la etapa de infantil (0 a 3 años), etapa que no es obligatoria, la tasa se ha incrementado en la última década hasta alcanzar el 38,2 %, según el informe *Education at a Glance 2020* (OECD, 2020). Esta tasa está por encima de la media en los países de la OECD, situada en el 25,5%, y de la de los países de la Unión Europea, que alcanza el 23,6%.

De los 83 participantes, todos los estudiantes de la Escuela 3, que pertenecen a dos clases distintas, formaron parte del grupo de control. Mientras que los participantes de las otras dos escuelas fueron asignados de forma *pseudoaleatoria* para preservar que el número de integrantes por género fuera similar en cada uno de los dos grupos. En el grupo CI ($n=22$) quedaron 13 niñas y 9 niños, en el grupo S ($n=22$) quedaron 14 niñas y 8 niños y en el grupo de control ($n=39$) había 19 niñas y 20 niños.

IDEAS CLAVE

- La investigación en educación pretende desarrollar un conocimiento científico que permita entender y mejorar los fenómenos educativos. Esto es posible utilizando estrategias fiables para obtener y analizar la información de problemas concretos. Solo la investigación científica puede garantizar la calidad del conocimiento obtenido.
- Un enfoque es un conjunto de prácticas que se utilizan en la investigación para resolver las cuestiones planteadas. Puede ser cuantitativo o cualitativo. El enfoque no debe confundirse con el diseño, que describe el proceso de recogida y análisis de información.
- Las investigaciones cuantitativas se desarrollan a partir de dos tipos de métodos: el método experimental y el método no experimental. Nos podremos decantar por el método experimental si las variables (independientes) se pueden manipular. La finalidad del método experimental es llegar a comprobar la existencia de relaciones causa-efecto entre las variables implicadas en la investigación.
- En nuestra investigación hemos utilizado un diseño experimental cuantitativo de tipo pretest-posttest con grupo de control con una asignación pseudoaleatoria (respetando proporciones de género) de los participantes a uno de los dos grupos experimentales, pero no al grupo de control. Participaron 83 estudiantes de 4 años de edad (media 53,3 meses y desviación estándar 3,6).
- El objetivo de nuestra intervención es analizar la incidencia sobre las funciones ejecutivas básicas de un entrenamiento con el *software* lúdico Mate Marote y su posible transferencia sobre el aprendizaje de cuestiones académicas concretas en estudiantes de 4 años de edad, en promedio. La gran novedad respecto a otras investigaciones reside en que en un grupo experimental se trabaja más el control inhibitorio y en el otro la memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva.

CAPÍTULO 6.

**La recogida de información:
instrumentos y
procedimientos de análisis**

Capítulo 6. La recogida de información: instrumentos y procedimientos de análisis

La **recogida de información** está vinculada a la medición de variables, independientemente de que el enfoque sea cualitativo o cuantitativo. En el caso de las herramientas cuantitativas, obtendremos la información en forma numérica. Los datos conforman la base del análisis. Sin ellos no hay investigación.

La recogida de información está directamente relacionada con la **evaluación**, aunque no son sinónimos. Para evaluar necesitamos recoger información, pero también valorarla, es decir, la información recogida debe compararse con algún referente que nos permita decidir sobre su idoneidad. En educación, la evaluación es una práctica orientada hacia la mejora (Adom, Mensah y Dake, 2020).

Cada vez que administramos un cuestionario o un test a un estudiante, estamos realizando un proceso de medición. De la misma forma que existen escalas para medir magnitudes físicas como, por ejemplo, la distancia, la masa o el tiempo, también hay escalas para medir variables que no se observan directamente como la atención o el control inhibitorio. Aunque en estos últimos casos debemos partir de definiciones teóricas (**constructos**) para planear las evidencias empíricas que permitan medir ese factor. El proceso que permite pasar de un constructo teórico (variables latentes o no observables) a su medición se denomina operacionalización de una variable (Navarro *et al.*, 2017). Por ejemplo, en el caso de la atención, podemos optar por el modelo de redes atencionales (Petersen y Posner, 2012) y aplicar el test child ANT para obtener una medida de cada uno de los tipos de atención: alerta, orientación y atención ejecutiva. Es lo que hemos hecho en nuestra investigación.

Existen diferentes niveles de medición o escalas de medida con sus correspondientes operaciones empíricas básicas que mencionamos a continuación (Stevens, 1946):

Escalas nominales: determinación de la igualdad. Permiten determinar si dos sujetos u objetos son iguales o no respecto de alguna variable.

Escalas ordinales: determinación de mayor o menor. Permiten ordenar los sujetos respecto de alguna variable.

Escalas de intervalo: determinación de igualdad de intervalos o diferencias. Permiten conocer la magnitud de la diferencia entre dos sujetos en el nivel de una variable.

Escalas de razón: determinación de igualdad de razones. Es una escala de intervalo a la que se le añade el significado del valor cero (indica la ausencia de la variable).

En nuestra investigación hemos realizado medidas de variables que corresponden a diferentes escalas. Por ejemplo, el género (nominal), la edad (de razón), el estatus socioeconómico (ordinal), el rendimiento académico de los estudiantes en las competencias académicas de infantil (de intervalo) y el rendimiento en los test estandarizados utilizados (de intervalo).

Las variables nominales y ordinales se consideran **variables cualitativas** (también llamadas categóricas) ya que sus valores (o modalidades) no se pueden asociar naturalmente a un número, es decir, no se pueden hacer operaciones aritméticas con ellos. Una variante de ellas serían las variables dicotómicas (o binarias) que solo admiten dos valores posibles. Mientras que las **variables cuantitativas** son cuantificables y sí que se pueden hacer operaciones aritméticas con sus valores.

6.1 Técnicas e instrumentos de recogida de datos

Antes de adentrarnos en este apartado, conviene diferenciar algunos términos importantes. Las **técnicas** son los procedimientos que el investigador utiliza de forma planificada para obtener la información que dé respuesta al problema de la investigación. Mientras que los **instrumentos** son los recursos que nos permiten registrar la información atendiendo a los objetivos definidos previamente. Algunos instrumentos pueden utilizarse con diferentes técnicas de recogida de información (Navarro y Arroyo, 2021).

La elección de una técnica de recogida de información u otra dependerá del tipo de variables que queramos medir. Requiere un adecuado proceso de planificación, especialmente si se ha de crear algún tipo de herramienta para recoger la información. No será nuestro caso, ya que utilizaremos test clásicos estandarizados si bien adaptados al formato de la plataforma Mate Marote (ver apartado 6.2).

Como ya anticipamos en el apartado 3.4.1, la calidad de la medición ha de satisfacer criterios de validez y fiabilidad. En relación con la investigación en educación, una parte importante del proceso es la cuantificación del comportamiento humano, cuya observación requiere la utilización de instrumentos de medida válidos y fiables. La **validez** puede definirse como el grado en que un instrumento mide con exactitud la variable que realmente pretende medir, es decir, si refleja el concepto abstracto a través de sus indicadores empíricos (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018). Mientras que la **fiabilidad** hace referencia a la precisión y se asocia al control de los posibles errores que pueden cometerse cuando se utiliza una herramienta de recogida de información concreta, es decir, es el grado en que un instrumento produce resultados iguales al medir repetidamente el mismo fenómeno (Drost, 2011). Por ejemplo, un cuestionario nos permitirá obtener información válida si al aplicarlo a diferentes personas todas lo entienden de la misma

manera (más o menos) y será fiable si las respuestas son consistentes para preguntas que describen situaciones similares.

La validez es garantía de fiabilidad, pero no a la inversa. Puede darse el caso de que haciendo distintas mediciones con un mismo instrumento alcancemos los mismos resultados y no sean válidos por falta de veracidad o correspondencia con la realidad. La forma común de comprobar la fiabilidad es aplicar el mismo instrumento de medición en diferentes momentos para averiguar si se alcanzan los resultados esperados (más que los mismos). Por ejemplo, esperamos mejores resultados si pasamos un test atencional al inicio de la jornada escolar cuando el niño está menos cansado que no al final, ya que pueden aparecer efectos de fatiga. Lo mismo ocurre en distintas etapas de la vida, lo cual es muy importante en la infancia en donde el desarrollo juega un rol crucial.

Existen varias clasificaciones para agrupar las distintas técnicas e instrumentos de medida existentes. Según Navarro y Arroyo (2021), aunque no existe consenso, podemos diferenciar tres niveles básicos en la clasificación de las técnicas de recogida de información (ver tabla 7).

Un primer nivel diferencia las técnicas interrogativas de las técnicas de observación. Las técnicas interrogativas incluyen todos los procedimientos en los que la información se obtiene a partir de un proceso de preguntas y respuestas, mientras que las técnicas de observación obtienen la información necesaria a través de observadores que estudian fenómenos tal como se producen. Un segundo nivel diferencia, dentro de las técnicas de observación, las que la registran de forma directa (como un diario de campo o listas de control), y las que lo hacen de forma indirecta (como en una exposición oral o en la redacción de un trabajo.). Y este segundo nivel diferencia, dentro de las técnicas interrogativas, entre las técnicas de encuesta, que recogen opinión, y las que miden constructos (test). Las herramientas de registro de información que se sitúan dentro de este último grupo de técnicas se consideran estrictamente instrumentos de medida.

Finalmente, un tercer nivel diferencia las técnicas que miden constructos, agrupándolas en función del tipo de rasgo. Destacan los test cognitivos, las escalas de actitud o las pruebas de rendimiento.

Tabla 7. Clasificación de técnicas e instrumentos de medida (Navarro y Arroyo, 2021)

Técnicas		Instrumentos	
De observación	Directa	Diario de campo Listas de control Escalas de estimación	
	Indirecta	Análisis de documentos	
Interrogativas	Encuesta	Opiniones e intereses	Entrevistas Cuestionarios Sociométricos
		Test	Cognitivos
	Actitudes y personalidad		Escalas (Likert, Thurstone, Guttman y Osgood)
	De rendimiento		Pruebas objetivas Ensayos o respuesta libre

En ciencias sociales, tal vez el instrumento más utilizado para recolectar los datos sea el **cuestionario**, que consiste en un conjunto de preguntas respecto de una o más variables a medir que tiene que ser congruente con el planteamiento del problema y la hipótesis (Creswell y Creswell, 2018). Sin embargo, para el propósito de nuestra investigación, nos interesan especialmente los test (junto a los informes de las maestras). Hemos utilizado varios, todos ellos validados por la investigación científica.

6.2 Los test

Son muchas las definiciones que aparecen en la literatura científica sobre el significado de los **test**, un término que ha sido adoptado internacionalmente para designar un tipo de examen o evaluación de uso extendido en educación y psicología. La American Educational Research Association. (2014) define el test como un instrumento de evaluación o procedimiento en el que se obtiene una muestra de la conducta de un examinando en un dominio específico que se puntúa usando un proceso estandarizado. Básicamente, los test son una medida objetiva, una técnica sistemática, se construyen empleando una muestra de conductas y permiten comparar y predecir las conductas de los participantes.

Un test contiene ítems (tareas del test) idénticos para todos los sujetos que lo contestan, al igual que las instrucciones y la forma de contestar. La corrección de esos ítems se realiza siguiendo

unos criterios que se han establecido previamente con el objetivo de analizar el valor numérico (o valores) obtenidos.

Aunque se han propuesto múltiples clasificaciones de los test, las más habituales en los contextos psicológicos y educativos son las siguientes (Martínez, Hernández y Hernández, 2014):

1. En función de las *consecuencias* para el sujeto. Suele hablarse de test de altas consecuencias (por ejemplo, test utilizados en procesos de selección) y test de bajas consecuencias (por ejemplo, cuando se utilizan en investigación).
2. En función del *planteamiento del problema y tipo de respuesta*. Esta distinción suele plantearse en términos del denominado formato de los ítems, y en este ámbito es frecuente hablar de test de respuesta seleccionada o elección múltiple y test de respuesta construida, incluyendo todos diferentes modalidades.
3. En función del *área del comportamiento acotada*. Se establecen distinciones frecuentes entre test cognitivos (atención, memoria de trabajo etc.) y no cognitivos (personalidad, motivación, etc.).
4. En función de *la modalidad de aplicación*. Suelen utilizarse diferentes etiquetas para los test, tales como individual/colectivo, papel y lápiz/ordenador, etc.
5. En función de *las demandas temporales*. Esto permite clasificar los test atendiendo a los requerimientos de tiempo.
6. En función del *grado de demandas específicas* de una cultura o grupo requeridas en la resolución del test. No se establece una división dicotómica.
7. En función del *modelo estadístico* en que se basan las puntuaciones del test. La construcción de un test necesita basarse en algún modelo probabilístico que permita dar un significado a las puntuaciones y hacer inferencias a partir de la muestra de conductas planteadas en el test. Los modelos con mayor trascendencia pueden clasificarse en los dos grupos siguientes: **Teoría Clásica de los Test**, que son modelos basados en las puntuaciones totales de los test, y la **Teoría de la Respuesta al Ítem** que modeliza las probabilidades de respuesta a un ítem para diferentes niveles del rasgo latente mediante un modelo no lineal.
8. En función del *tipo de interpretación de las puntuaciones*. Se puede poner el foco en el nivel o grado de ejecución sobre algún dominio o criterio definido de antemano (Test Referidos a Criterio, TRC) o situar a los sujetos en función de estadísticos calculados en algún grupo de referencia al que pertenecen (Test Referidos a Normas, TRN, también llamados normativos o estandarizados).
9. En función de los *usos pretendidos* del test. Hay test que son adecuados para un rango de edad determinado; algunos destinados a la población general y otros a grupos especiales; hay test con requisitos de lenguaje para los participantes, etc.

A continuación, analizamos los instrumentos de recogida de información utilizados en nuestra investigación en el pretest y en el postest. Todos son test estandarizados clásicos que han sido ampliamente probados, tienen garantías de fiabilidad y validez y siguen utilizándose en las principales investigaciones en el campo de las funciones ejecutivas. Aunque la administración es diferente a lo usual. En particular, las instrucciones fueron dadas por videos en los propios ordenadores.

Todos los test utilizados están adaptados para la etapa de educación infantil, tanto su diseño como el tipo de instrucciones. Son test cognitivos que se responden de forma individual y tienen limitaciones de tiempo para evitar la fatiga.

En el contexto de nuestro estudio particular, estos test nos suministran información relevante relacionada, principalmente, con la atención ejecutiva (test child ANT), el control inhibitorio y la flexibilidad cognitiva (test de Stroop corazón-flor), la memoria de trabajo visuoespacial (test de Corsi) y la inteligencia fluida (test TONI-4), entre otras habilidades cognitivas que seguidamente explicamos. Conviene recordar que todos los test son administrados por la propia plataforma Mate Marote y que hay ensayos de demostración y otros de práctica que el participante deberá sortear correctamente antes de que comience el test propiamente dicho.

6.2.1 Test child ANT

Tal como mencionamos en el apartado 3.4.2, la tarea de las redes atencionales ANT (del inglés, *Attention Network Task*) es un procedimiento experimental que fue desarrollado para obtener una medida de cada una de las funciones de la atención: alerta, orientación y atención ejecutiva. Esta tarea posteriormente se adaptó a la población infantil. Es la llamada child ANT (Rueda *et al.*, 2004a; Rueda, 2021).

La tarea ANT infantil se presenta como un juego de ordenador y es lo suficientemente sencilla para que pueda ser realizada por niños desde, aproximadamente, 3-4 años de edad en adelante. El test completo dura aproximadamente veinte minutos.

Se pide al niño que determine si un pez central (u otro animal) apunta hacia la derecha o hacia la izquierda y que presione uno de los dos botones del teclado (el derecho para indicar derecha, el izquierdo para indicar izquierda), ignorando los peces de los lados (flancos), dos a la izquierda del central y dos a la derecha. El tiempo de presentación de los estímulos en la pantalla fue de 2500 ms, mientras que el intervalo de tiempo entre ensayos fue de 1000 ms.

Debido a la edad de los participantes, en nuestra investigación utilizamos una versión reducida del test que consiste en 72 ensayos, divididos en dos bloques de 32, y 8 ensayos que sirvieron de práctica inicial antes de comenzar el test. Cada bloque contiene animales distintos (peces, ratones o pájaros) y un color de fondo diferente que cambiamos en las dos fases de evaluación para incluir variabilidad.

Entre bloques, los niños pueden descansar el tiempo que precisen, y saben esto antes de comenzar el test. Tras la respuesta, un sonido suministra el *feedback* correspondiente, y, además, si la respuesta fue correcta, el animal se mueve. En nuestro caso, el *feedback* lo suministró la cara del gato Nubis (sonriente y multicolorada o seria y en color gris).

Hay tres situaciones en las que se manipulan factores que dan información sobre las tres redes atencionales: señales de alerta, señales de orientación y congruencia de flancos. En nuestra investigación introdujimos alguna pequeña modificación en las dos primeras.

En la primera situación posible, antes de que aparezca la fila de peces, puede sonar o no un tono de **alerta**. En nuestro caso, utilizamos una adaptación del test en la que pueden aparecer dos figuras ovaladas blancas (**doble señal**), una en la parte superior y otra en la parte inferior, o puede aparecer la pantalla sin modificaciones (**sin señal**).

En la segunda situación puede aparecer una señal de **orientación** en la misma posición en la que luego aparecerá la fila de peces (señal válida) o en la posición contraria (señal inválida). La fila de peces puede aparecer por encima o por debajo de una pequeña cruz en el centro de la pantalla que indica el punto de fijación de la mirada. En nuestra adaptación del test se muestra una figura ovalada blanca en el medio de la pantalla (**señal central**) o se muestra esa figura en el mismo lugar donde luego aparecerá el estímulo (**señal espacial**).

En lo referente a la tercera situación posible, los flancos unas veces son **congruentes** y otras **incongruentes** con el sentido que indica el pez central, que es el objetivo de la tarea. La congruencia está dada por la coherencia entre la dirección del animal central y de los animales que lo flanquean y actúan como distractores, es decir, para que sea congruente tienen que estar todos los animales de la fila orientados hacia el mismo sentido. Este evento es el que se utiliza para calcular la puntuación de la **atención ejecutiva**, el tipo de atención que guarda una relación directa con las funciones ejecutivas.

El test ANT suministra puntuaciones de cada una de las redes atencionales (ver figura 18) ya que permite contrastar la ejecución de la tarea en términos de velocidad de respuesta y de precisión en condiciones con señal de aviso vs sin señal de aviso (en nuestro caso con doble señal vs sin señal; puntuación de alerta), en condición de orientación válida vs inválida (en nuestro caso señal espacial vs central; puntuación de orientación) y en condiciones de flancos congruentes vs incongruentes (puntuación de atención ejecutiva).

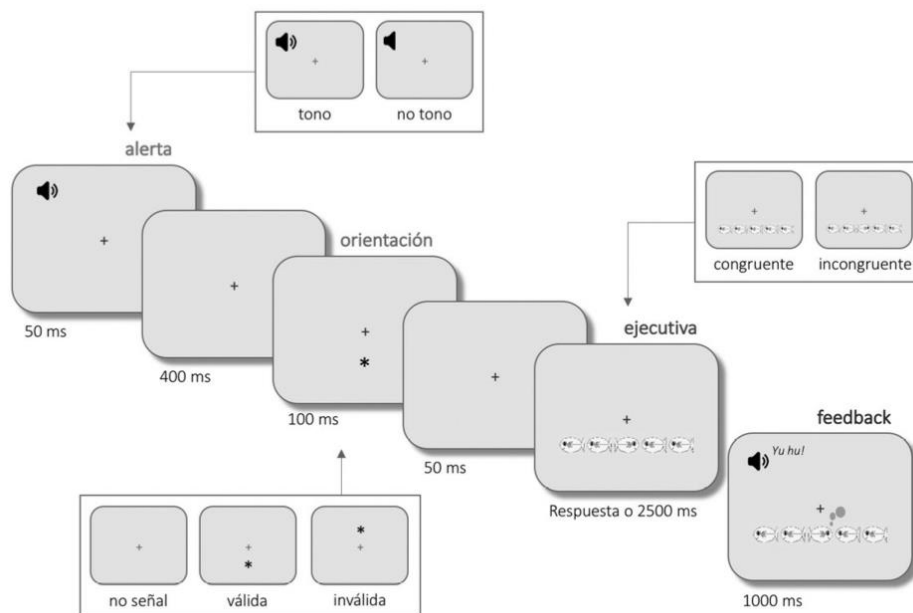
Las puntuaciones en los diferentes tipos atencionales se obtienen sustrayendo la media o mediana del tiempo de reacción y/o del porcentaje de errores cometidos (o de las respuestas acertadas) en cada una de las condiciones. Se obtienen las medianas individuales y luego, con esas, calculamos las medias poblacionales.

La mayor eficacia en el rendimiento de cada una de las redes atencionales conlleva puntuaciones menores. Es decir, una menor puntuación de alerta suele obtenerse cuando se reduce el **tiempo de respuesta** en los ensayos sin señal de aviso debido a la mayor capacidad para sostener la

atención sin ayuda de señales externas. Una menor puntuación de orientación indica que se puede reorientar más rápidamente la atención sin ayuda de señales externas. Y una menor puntuación en la atención ejecutiva indica que el niño es más eficaz a la hora de reducir la incidencia de los flancos distractores en sus respuestas. Evidentemente, las puntuaciones atencionales suelen reducirse con la edad (Pozuelos *et al.*, 2014).

Cuando se analiza la velocidad de respuesta es importante no considerar los ensayos respondidos de forma impulsiva. Esto lo hicimos cuando la respuesta fue dada en menos de 250 milisegundos tras la aparición del estímulo (Goldin *et al.*, 2014), sugiriendo que el niño contestó lo más rápidamente que pudo, pero sin analizar cuál era la respuesta correcta. Este tipo de respuestas anticipatorias se dan en los test cuando el participante está demasiado ansioso y no puede esperar a que aparezca el estímulo del ensayo actual ni analizarlo, lo cual sugiere déficits en la inhibición. La otra cuestión importante es analizar los tiempos de respuesta solo de las **respuestas correctas**. Por un lado, se analiza el rendimiento comparando las respuestas correctas frente a las incorrectas. Y, por el otro, se analiza el tiempo de respuesta.

Figura 18. Representación esquemática de la versión infantil de la tarea de las redes atencionales ANT (Rueda, 2021)



6.2.2 Test de Stroop corazón-flor

La **tarea de Stroop corazón-flor** fue desarrollada por Davidson *et al.* (2006) para evaluar el control inhibitorio y la flexibilidad cognitiva en la infancia. Combina elementos de las tareas tipo Simon de conflicto espacial (Lu y Proctor, 1995) y de alternancia de tareas o *task switching* (Macleod, 1991), que ya mencionamos en el apartado 3.4.2.

La tarea consiste en presionar una tecla del ordenador entre dos posibles (una a la izquierda y otra a la derecha) dependiendo de la figura que aparece en la pantalla y su posición. En la tarea original, las figuras posibles son un corazón o una flor que pueden aparecer a la izquierda o a la derecha de la pantalla. Si la figura que aparece es el corazón, hay que apretar la tecla del mismo lado, es decir, si el corazón aparece a la derecha hay que pulsar la tecla de la derecha y si aparece a la izquierda hay que pulsar la tecla de la izquierda. Este ensayo se llama congruente. Y si aparece la flor, hay que pulsar la tecla del lado contrario, es decir, si la flor aparece a la derecha hay que pulsar la tecla de la izquierda y al revés. En este caso el ensayo se llama incongruente. La existencia de ensayos con o sin conflicto (incongruentes vs congruentes) permite calcular las puntuaciones de interferencia que nos indican la eficiencia de los procesos de resolución de conflicto y nos dan información sobre el control inhibitorio. El llamado “**efecto Simon**”, o de incompatibilidad espacial, se refiere a que las respuestas son más rápidas y certeras en ensayos espaciales congruentes que en ensayos incongruentes.

La tarea completa dura aproximadamente 10 minutos e incluye tres fases en las que cambia la presentación del tipo de estímulos, incrementándose progresivamente la dificultad de las demandas de control inhibitorio y flexibilidad cognitiva. En la primera fase hay 12 ensayos, todos ellos congruentes, es decir, aparecen solo corazones en distintas posiciones. En la segunda fase hay 12 ensayos incongruentes en los que solo aparecen flores. Y la tercera y última fase tiene 24 ensayos mezclados, tanto congruentes como incongruentes (12 y 12) que van apareciendo de forma aleatoria.

En la primera fase solo hay que recordar la instrucción correspondiente, con lo que principalmente interviene la memoria de trabajo. Es lo mismo que ocurre en las tareas de tipo Simon en las que hay que recordar las reglas asociadas a los estímulos ("para el estímulo A, presiona la tecla de la derecha" y "para el estímulo B, presiona la tecla de la izquierda"). En la segunda fase se incrementa la demanda del **control inhibitorio** porque, además de recordar la regla correspondiente, hay que inhibir la tendencia a responder con la tecla situada en el lado en el que apareció la figura. Y en la tercera fase hay que recordar las dos reglas correspondientes, inhibir la tendencia dominante y adaptarse a los diferentes ensayos que aparecen mezclados, lo cual requiere cambiar el foco atencional de forma flexible (incorporando el componente de **flexibilidad cognitiva**) y exige una mayor demanda cognitiva. En esta fase final, a diferencia de la inicial, hay que manipular la información sobre la marcha, es decir, interviene más la memoria de trabajo. Los participantes deben elegir y utilizar en cada uno de los ensayos la regla apropiada para el estímulo. Y deben hacerlo rápido (en menos de 1500 ms, que era el tiempo de presentación de los estímulos), lo cual hace que este test sea más difícil que el test child ANT. De forma similar a como se especificó en el test child ANT, en el test de Stroop corazón-flor las respuestas dadas antes de los 250 ms desde el inicio de la prueba fueron descartadas debido a su condición impulsiva. Y, por supuesto, la cantidad de respuestas correctas se espera que sea menor en los

ensayos incongruentes que en los congruentes, y menor aún en la parte mixta. En este test, la disminución del tiempo de respuesta y la cantidad de aciertos globales también están asociados al desarrollo (Wright y Diamond, 2014). Asimismo, en nuestra versión utilizamos otras figuras, tanto en el pretest como en el postest.

6.2.3 Test de Corsi

El test de Corsi es una tarea clásica que se utiliza para evaluar la **memoria de trabajo visuoespacial** (Corsi, 1973). Se considera que es análogo a los test de repetición de dígitos en orden directo e inverso.

La tarea original consta de nueve cubos colocados al azar sobre una superficie plana. El investigador toca un cierto número de cubos (o bloques, en general) siguiendo una secuencia y el participante ha de imitarlo; la longitud de la secuencia aumenta progresivamente con cada repetición hasta que la ejecución falla. La prueba concluye cuando el participante no logra reproducir una determinada secuencia de toques, anotándose la secuencia más larga. La secuencia recordada constituye la amplitud (*span*) de la memoria visuoespacial.

También puede plantearse la versión inversa de la prueba en la que el participante repite el orden de golpeo al revés (Pickering, Gathercole y Peaker, 1998). Se cree que la versión inversa del test evalúa específicamente el ejecutivo central del modelo de Baddeley sobre la memoria de trabajo, mientras que la versión directa evalúa la agenda visuoespacial (Arce y McMullen, 2021). En nuestra investigación solo utilizamos el orden directo y no el inverso.

Con el paso del tiempo se han realizado muchos cambios y adaptaciones del test de Corsi original. Las primeras modificaciones se limitaron a cambios en algunos parámetros, como el número de bloques o su disposición en el tablero. Aparecieron diferentes versiones y métodos de evaluación de los resultados (Richardson, 2007). En la mayoría de estudios donde se utiliza el test de Corsi para evaluar la memoria de trabajo visuoespacial se consideran sobre todo los parámetros de *span* y el número de aciertos (o errores).

En los últimos años se crearon versiones digitales del test de Corsi. Los bloques físicos se convirtieron en cuadrados digitales u otras figuras. El toque de bloques fue reemplazado por cambios en el color del bloque, y los participantes utilizaron el ratón del ordenador en lugar de su propio dedo para indicar la selección. En nuestra investigación utilizamos una versión digital del test de Corsi en el pretest en la que aparecen bombillas en la pantalla que se van iluminando por secuencias. Primero se ilumina una (se enciende y se apaga rápidamente) de las nueve que aparecen en la pantalla y el niño tiene que pulsar esa bombilla que se encendió. Luego aparecerán dos, tres..., el programa se irá adaptando a las respuestas dadas por el participante. En el postest cambiamos las bombillas por estrellas.

Como ya mencionamos en el apartado 3.4.2, este tipo de tareas son adecuadas para edades a partir de los tres años (Garon, Bryson y Smith, 2008) y, en consonancia con lo que comentábamos en el resto de test, la memoria de trabajo visuoespacial presenta un desarrollo gradual conforme a la edad, por lo que se espera una mejora progresiva con el paso de los años en el desempeño en el test de Corsi y similares (Pickering y Gathercole, 2001).

6.2.4 Test TONI-4

El Test de Inteligencia No Verbal TONI (del inglés, *Test Of Nonverbal Intelligence*) se creó para hacer frente a la creciente diversidad y complejidad de una sociedad en la que la evaluación de la capacidad intelectual y aptitud fue rápidamente convirtiéndose en una práctica común (Brown *et al.*, 1982). Su formato no verbal lo convirtió en una prueba idónea para evaluar a personas con dificultades verbales, auditivas o motoras. Esto es una ventaja para su utilización en niños pequeños, si bien el test puede resultarles un poco complejo. Y la utilización de figuras abstractas lo mantiene libre de influencias culturales. Es un test que se centra en la **resolución de problemas** como forma de estimar la capacidad cognitiva (Johnsen, 2017).

Tras la publicación original en 1982, han ido apareciendo nuevas versiones del TONI (TONI-2, TONI-3 y TONI-4). La última, TONI-4 (Brown *et al.*, 2010) tiene dos formas (A y B), con 45 ítems (y 5 de práctica) cada una de ellas que están ordenados de menor a mayor dificultad. Es útil a partir de los 5 años y la duración de cada una de las formas es de unos 15 minutos, aproximadamente. Esto si se llega hasta el final, pero en nuestro caso la tarea finalizaba al realizar tres ensayos incorrectos en una ventana de cinco.

Dependiendo del grado de dificultad, los ítems que aparecen en el test combinan una o más de las características siguientes: posición, forma, dirección, rotación, contigüidad, sombreado, tamaño o movimiento. El participante debe observar las similitudes y diferencias que hay entre las figuras del problema y en las alternativas de respuesta, identificar la regla (o reglas) que se está utilizando y seleccionar la respuesta correcta de un conjunto de 4 a 6 opciones predefinidas. La resolución de este tipo de tareas requiere originalidad y flexibilidad. El test TONI es una buena representación del factor g de Spearman (Johnsen, 2017) y de la **inteligencia fluida** (Lassiter *et al.*, 2001).

La adaptación digital del test TONI que hemos utilizado en nuestra investigación requiere que el niño se fije en una fila o cuadrado de figuras que aparecen en la parte superior de la pantalla y siguen una determinada regla. Hay una casilla vacía que hay que rellenar con una de las posibles figuras que aparecen en la parte inferior de la pantalla del ordenador que el niño elige pulsando el ratón tomándose el tiempo que necesite. El test se va adaptando a las respuestas dadas por el participante regulando el nivel de dificultad.

6.3 Información complementaria

6.3.1 El aprendizaje de los estudiantes

Según el *Diccionario de la lengua española*, aprender (del latín *apprehendere*) es “adquirir el conocimiento de algo por medio del estudio o de la experiencia”. En otra acepción, se define aprender como “fijar algo en la memoria”

Desde la perspectiva específica de nuestra investigación, conviene recalcar que la neurociencia y la educación pueden asociar significados distintos a una misma palabra. Es el caso del aprendizaje.

En neurociencia se acepta de forma generalizada que el aprendizaje humano se produce a causa de cambios en los patrones de conectividad entre neuronas (Humeau y Choquet, 2019). En el nivel neuronal, el proceso de aprendizaje se explica a partir de un mecanismo conocido como potenciación a largo plazo, que conlleva un incremento duradero en la eficiencia sináptica cuando se activan neuronas simultáneamente. Estos cambios en el cerebro (neuroplasticidad) pueden darse a nivel funcional, pero también a nivel estructural, es decir, regiones del cerebro se modifican como consecuencia del aprendizaje.

Según el neurocientífico Stanislas Dehaene (2019), de forma global, el aprendizaje permite que el cerebro atrape una porción de la realidad (externa o interna) que antes le era ajena y la use para construir un nuevo modelo del mundo, es decir, aprender es construir un modelo interno del mundo exterior. Esto conlleva que se tengan que cumplir diferentes condiciones. De hecho, el propio Dehaene, desde una perspectiva multidisciplinaria, da siete definiciones de aprendizaje:

1. Aprender es ajustar los parámetros de un modelo mental.
2. Aprender es aprovechar la explosión combinatoria.
3. Aprender es minimizar los errores.
4. Aprender es explorar el espacio de lo posible.
5. Aprender es optimizar una función de recompensa.
6. Aprender es acotar el espacio de investigación.
7. Aprender es proyectar hipótesis a priori.

En educación, el aprendizaje puede ser definido como el proceso de adquisición de conocimiento, actitudes o destrezas recurriendo al estudio, a la enseñanza o a la experiencia (López, 2009). Sin embargo, las ideas acerca del aprendizaje son diversas, siendo el producto de diferentes tradiciones psicológicas y educativas y otras ideas transmitidas. Según Howard-Jones (2011), la falta de consenso en el pensamiento educativo hace que las creencias que cada docente tiene sobre el aprendizaje, desarrolladas a través de conocimientos profesionales acumulados, desempeñen un papel crítico en su práctica. Según este autor, desde la perspectiva de la investigación

neuroeducativa es posible la integración de las diferentes ideas sobre el aprendizaje a partir del modelo cerebro-mente-conducta que suministra la neurociencia cognitiva, incluyendo y haciendo especial hincapié en las construcciones sociales y teniendo especialmente presente la perspectiva experiencial.

En los últimos años, muchos sistemas educativos occidentales han puesto el foco en la mejora del rendimiento académico de sus estudiantes en dominios como las matemáticas, la lectura y las ciencias, como consecuencia de la aparición de las pruebas PISA y similares. Sin embargo, aprendizaje y rendimiento son términos que están relacionados, aunque no son sinónimos. Los estudiantes pueden tener mucho éxito en las tareas en clase sin aprender prácticamente nada; por el contrario, pueden hacer relativamente mal esas mismas tareas, pero aprender bastante (Hattie y Donoghue, 2016).

Según Soderstrom y Bjork (2015), el **aprendizaje** se refiere a cambios relativamente permanentes en el conocimiento o el comportamiento que apoyan la retención y transferencia a largo plazo. Este tendría que ser el objetivo de la educación. Mientras que el **rendimiento** se refiere a fluctuaciones temporales en el conocimiento o comportamiento que se pueden observar y medir durante la instrucción, o poco después. En síntesis, el rendimiento es a corto plazo, mientras que el aprendizaje es a largo plazo.

Resulta intuitivo pensar que el rendimiento debería ser, como mínimo, un indicador aproximado del aprendizaje, sin embargo, las investigaciones en los últimos años sugieren lo contrario. Por ejemplo, hacer el mismo tipo de tarea repetidamente puede conllevar ganancias en el rendimiento a corto plazo ya que esa información está reciente en el tiempo (memoria a corto plazo). Pero ello no significa que se consolide la información (memoria a largo plazo). Y al revés. Un aprendizaje a largo plazo se puede mejorar perjudicando intencionadamente el rendimiento a corto plazo. Es lo que ocurre con la práctica de recuperación espaciada: espaciar el estudio y practicar dejando pasar cierto tiempo hace que el aprendizaje y la memoria se refuercen (Kornmeier, Susic-Vasic y Joos, 2022). El intervalo de tiempo entre sesiones de estudio ha de ser suficiente para que la práctica no se convierta en una repetición mecánica sin sentido. Un poco de olvido entre sesiones es positivo ya que has de esforzarte más para recordar. Es lo que se conoce en la literatura científica como **dificultades deseables** (ver apartado 2.2.2). Son deseables porque conducen a una mejor retención y transferencia del conocimiento a largo plazo y son difíciles porque plantean desafíos que ralentizan el ritmo del progreso actual e inducen más errores durante la instrucción (Bjork y Bjork, 2020).

Así entendemos en nuestra investigación el término aprendizaje. Un aprendizaje duradero y transferible que requiere esfuerzo cognitivo, pero que conlleva dificultades adaptadas a las

necesidades individuales del estudiante. Esta adaptación requiere, entre otros factores, ir suministrando el *feedback* adecuado durante el proceso de aprendizaje. Esto lo tiene en cuenta Mate Marote, el software que hemos utilizado en la intervención. Y un aprendizaje global, lo cual es especialmente importante (y necesario) en la infancia, tal como hemos mencionado en este texto. Aunque parezca contraintuitivo, la ruta más eficiente y rentable para mejorar los resultados escolares consiste en no centrarnos exclusivamente en lo académico, es decir, ir más allá de lo cognitivo (Diamond, 2010). Por eso, la información que nos aportarán los test utilizados será relevante para evaluar diferentes habilidades cognitivas de los niños, pero también serán muy útiles los informes suministrados por las maestras de las escuelas 1 y 2, ciegas a las hipótesis experimentales, sobre áreas tan diversas (ver tabla 8) como el conocimiento de sí mismo y autonomía personal, el conocimiento del entorno y lenguajes (comunicación y representación)⁹. En consonancia con la idea del aprendizaje global apuntado y, también con el título de esta tesis, cuando mencionemos la transferencia del aprendizaje nos estaremos refiriendo a las habilidades cognitivas analizadas (no solo las funciones ejecutivas básicas), junto a las competencias académicas evaluadas. Una transferencia que es cercana, en unos casos, y lejana en los otros (ver apartado 4.1).

Tabla 8. Áreas de conocimiento en la segunda etapa de educación infantil en España

ÁREAS DE CONOCIMIENTO		
Conocimiento de sí mismo y autonomía personal	Conocimiento del entorno	Lenguajes: comunicación y representación
Hace referencia, de forma conjunta, a la construcción gradual de la propia identidad y de su madurez emocional, al establecimiento de relaciones afectivas con los demás y a la autonomía personal como procesos inseparables y necesariamente complementarios.	Pretende favorecer en el alumnado el proceso de descubrimiento y representación de los diferentes contextos que componen el entorno infantil, así como facilitar su inserción en ellos, de manera reflexiva y participativa.	Pretende mejorar las relaciones entre el niño y el medio. Las distintas formas de comunicación y representación sirven de nexo entre el mundo exterior e interior al ser instrumentos que hacen posible la representación de la realidad, la expresión de pensamientos, sentimientos y vivencias y las interacciones con los demás.

⁹ Según el Real Decreto 1630/2006, de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas del segundo ciclo de educación infantil. *Boletín Oficial del Estado*, 4, de 4 de enero de 2007.

<https://www.boe.es/eli/es/rd/2006/12/29/1630>

En España no existe ninguna obligación de dar calificaciones a los estudiantes en la etapa de educación infantil, lo cual sucede a partir de Primaria. Sí que se les entrega a las familias informes sobre el desarrollo personal del estudiante durante el curso académico. En nuestra investigación, las maestras de las escuelas 1 y 2 nos suministraron informes sobre el desempeño de los estudiantes en las tres áreas de conocimiento, pero no la maestra de la Escuela 3. Estos informes correspondían a la fase inicial del curso (segunda semana de septiembre) y al final del trimestre, una semana después de la intervención. La conversión numérica que hicimos a partir de la rúbrica de las maestras y sus valoraciones sobre el nivel de desempeño alcanzado por cada niño en las tres áreas de conocimiento fue la siguiente: excelente (10), bueno (8,5), adecuado (6,5), regular (4), poco (2).

6.3.2 El estatus socioeconómico de las familias

La medida más utilizada en neurociencia para estudiar la pobreza es el estatus socioeconómico (SES, de sus siglas en inglés) familiar. Este es un constructo que abarca diferentes variables, siendo las más utilizadas el nivel educativo de los padres, su nivel ocupacional y el salario familiar, aunque no existe consenso sobre cuál es la más importante (Johnson, Riis y Noble, 2016). Por ello, es necesario especificar bien en las investigaciones los factores que se utilizan para medir el SES. Como explicaremos luego, se cree que estos factores influyen en el funcionamiento y desarrollo del cerebro de forma indirecta, a través de factores proximales, como los colaterales de la pobreza (Rueda, 2021).

La evidencia parece clara en lo referente a la relación entre el SES, el neurodesarrollo y las funciones ejecutivas: niveles bajos de SES afectan de forma negativa al desarrollo de las funciones ejecutivas en la infancia. Según algunos autores estos resultados se explicarían por la falta de **ingresos**, ya que la falta de recursos perjudica el adecuado desarrollo de las funciones ejecutivas o impiden corregir los déficits identificados (Ursache y Noble, 2016). Mientras que otros autores defienden que es el **nivel educativo familiar**, en especial el de la madre, el factor que más influye en esta relación ya que condiciona la estimulación ofrecida a los hijos durante su desarrollo (Aran-Filippetti y Richaud de Minzi, 2012).

Todas las funciones ejecutivas se ven afectadas por el SES. Sin embargo, parece que la memoria de trabajo se ve especialmente perjudicada (Hackman et al., 2015). En general, la variación del SES familiar no solo se asocia de forma significativa con el desarrollo de las funciones ejecutivas, sino también con el lenguaje y la memoria (Farah, 2017).

Se han encontrado diferencias de ejecución entre niños de familias de alto y bajo SES en tareas para medir las funciones ejecutivas como las que hemos utilizado en nuestra investigación. Por

ejemplo, en el test ANT y tareas Stroop, especialmente, pero también en el test de Corsi (Lawson, Hook y Farah, 2018).

Utilizando el test child ANT, los niños de entornos socioeconómicos más favorecidos obtienen mejores puntuaciones en las medidas de atención ejecutiva y atención de alerta (Mezzacappa, 2004). En lo referente a la ventaja de la atención ejecutiva, estos resultados se han obtenido incluso con bebés de 6 a 14 meses (Lipina *et al.* 2005). Con niños más mayores, entre 3 y 8 años, la investigación muestra que los menores de familias con menor SES tienen más dificultad para focalizar la atención ya que experimentan mayores problemas para ignorar información irrelevante (Stevens, Lauinger y Neville, 2009).

Las diferencias no solo afectan al funcionamiento cognitivo, sino también al cerebral. Muchas investigaciones han identificado una correlación entre el SES de una familia y el desarrollo cerebral de los niños, con variaciones en la forma, el tamaño y el funcionamiento de distintas regiones, como la corteza frontal, parietal, temporal y la corteza cingulada, básicas para el buen funcionamiento ejecutivo, o regiones subcorticales como la amígdala, imprescindible para el procesamiento emocional, y el hipocampo, necesario para la consolidación de las memorias (Farah, 2017).

La brecha en el rendimiento cognitivo general entre niños de alto y bajo SES es de 6 puntos a los 2 años de edad, pero ésta casi se triplica a los 16 años (Von Stumm y Plomin, 2015). Parece que los contextos de pobreza tempranos acortan los periodos sensibles de estos niños. La pobreza perjudica el adecuado desarrollo de la corteza cerebral y ello perjudica el rendimiento cognitivo en las tareas utilizadas para medir las funciones ejecutivas (Noble *et al.*, 2015)

Para confirmar una relación causal entre los ingresos familiares y el desarrollo cerebral, se está desarrollando un estudio longitudinal para evaluar los efectos de una ayuda económica mensual a las familias sobre el desarrollo cerebral de los hijos en los tres primeros años de vida. Se han reclutado a 1000 madres con bajos ingresos en el momento del parto y se les han asignado aleatoriamente a dos grupos: uno recibe 333 \$ al mes y otro 20 \$. En un estudio preliminar se han identificado mejoras en los patrones de actividad cerebral de los niños en el primer año de vida que están asociados al desarrollo de habilidades cognitivas posteriores (Troller-Renfree *et al.*, 2022).

En nuestra investigación, tuvimos acceso a la profesión y nivel educativo de las madres y/o padres (o adultos encargados) de todos los participantes. Estas variables son las que nos permitieron aproximarnos al SES familiar a través de las escalas utilizadas en Goldin *et al.* 2014 (Lipina *et al.*, 2005; ver tabla 9).

Haciendo la media entre los dos valores, consideramos los siguientes niveles para el SES: bajo (hasta 4 puntos), medio (entre 4 y 8 puntos) y alto (entre 8 y 12 puntos).

Tabla 9. Escalas para la estimación del SES familiar (Lipina *et al.*, 2005)

Estimación del SES de las familias	
Nivel educativo de los padres	Nivel de ocupación de los padres
Sin estudios= 0 Primaria incompleta= 1 Primaria completa= 3 Secundaria incompleta= 6 Secundaria completa= 9 Universidad incompleta=10 Universidad completa= 12	Desocupado= 0 Trabajador inestable= 1 Trabajador no calificado= 2 Trabajador calificado= 4 Pequeño productor autónomo= 6 Trabajador administrativo= 7 Trabajador técnico profesional= 8 Dueño de pequeña empresa= 10 Profesional= 11 Gerente de empresa= 12

6.4 Análisis y discusión de datos cuantitativos

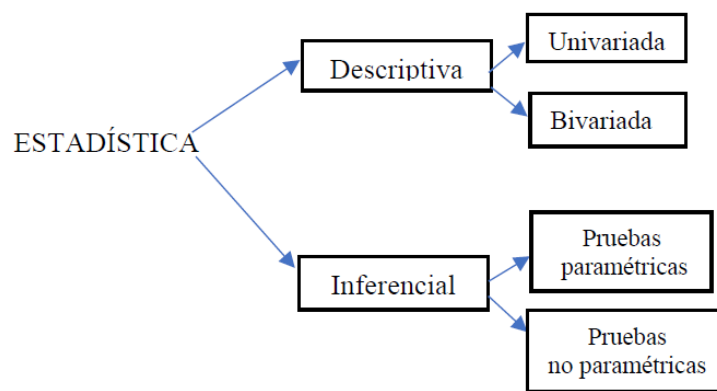
Una vez finalizado el proceso de recogida de información comienza la fase, también clave, de análisis de datos. La forma de analizar la información dependerá de la modalidad de investigación utilizada (en nuestro caso, cuantitativa) y, como consecuencia de ello, del tipo de datos recogidos. El análisis cuantitativo de la información se realiza mediante técnicas de análisis estadístico. En este apartado nos centraremos en la interpretación de los resultados de los métodos de análisis estadístico y no en los procedimientos de cálculo ya que estos nos los suministraron las bibliotecas Pandas, Numpy, Matplotlib, Seaborn, Scipy y los paquetes estadísticos Statsmodels y Pingouin, con el lenguaje de programación Python 3.8.

El análisis estadístico de los datos conlleva su descripción, el descubrimiento de regularidades y la inferencia de características relativas a conjuntos más amplios que los directamente estudiados (Gil, 2003). Las hipótesis planteadas en la investigación son las que determinan qué tipo de análisis estadístico debe utilizarse.

Los análisis estadísticos se clasifican en descriptivos e inferenciales (Frey, 2018; ver Figura 19). Como su nombre indica, las **estadísticas descriptivas** implican describir, organizar y resumir la información relativa a los participantes del estudio. En nuestro caso particular, lo referente al número y proporción de niñas y niños participantes, sus edades y sus géneros, etc. Luego habrá que especificar y organizar los datos recogidos en los test (sesiones de juego, tiempos de respuesta, proporciones de ensayos acertados, etc.). Generalmente, esto forma parte de la primera fase del análisis de datos de todas las investigaciones.

Por otro lado, las **estadísticas inferenciales** van más allá de la descripción de las distribuciones de las variables y tienen como objetivo probar hipótesis (**contraste de hipótesis**) y obtener conclusiones acerca de las características de una población a partir de una muestra de esta (inferencias). Ello requiere utilizar la teoría de la probabilidad para llegar a conclusiones sobre una variable más allá de los datos recopilados y determinar la certeza relativa de esas conclusiones. En la práctica, la capacidad de generalización de los resultados dependerá del tamaño de la muestra y de los procesos de selección de la muestra utilizados, aunque contar con un número reducido de casos no impide poder aplicar pruebas estadísticas para realizar un contraste de hipótesis riguroso (Navarro *et al.*, 2017).

Figura 19. Tipos de estadística: descriptiva e inferencial



6.4.1 Estadística descriptiva

La estadística descriptiva incluye una parte de análisis de cada variable, una a una (estadística univariada), que permite conocer la forma en la que se distribuyen los distintos valores que las componen y otra parte que analiza de forma conjunta la relación entre dos variables (estadística bivariada). Si el objetivo de la investigación es generalizar los resultados de correlación a la población, la descripción bivariada de variables también podemos considerarla como estadística inferencial, que luego analizamos. En el caso que la finalidad de la investigación sea solo describir un grupo de participantes, las correlaciones son **estadísticos** descriptivos. De forma muy resumida, los mencionamos a continuación (Navarro y Arroyo, 2021):

- **Frecuencias y porcentajes:** se utilizan con variables cualitativas para determinar el número y proporción de casos que se encuentran en sus distintas categorías o niveles.
- **Estadísticos de tendencia central:** permiten ver la tendencia de los datos a agruparse en torno a los valores centrales de la distribución de puntuaciones de los datos de variables cuantitativas. Los principales son media, mediana y moda.

- **Estadísticos de dispersión:** se utilizan para estudiar cómo se distribuyen las puntuaciones en torno a los valores centrales. Los estadísticos principales son la varianza, desviación típica, puntuaciones mínima y máxima, rango y coeficiente de variación de Pearson.
- **Estadísticos de forma:** analizan la forma de la distribución de frecuencias de una variable, comparándolas con la distribución normal o campana de Gauss.
- **Estadísticos de posición:** permiten establecer ordenaciones de casos en una escala de puntuaciones. Las puntuaciones de un test en su escala original se denominan puntuaciones directas, pero para dar un significado a esos números que determine la posición de un sujeto respecto a su grupo se realizan transformaciones. Los percentiles o las puntuaciones típicas son algunos ejemplos.
- **Estadísticos de relación:** existen coeficientes adecuados para cualquier tipo de variables, es decir, es posible establecer la relación entre dos variables cualitativas (coeficiente chi-cuadrado, phi y V de Cramer para variables con más de dos categorías y el coeficiente de contingencia, phi y V de Cramer para el mismo número de categorías), una cualitativa y otra cuantitativa (si la cualitativa es dicotómica se utiliza la correlación biserial-puntual, si es ordinal puede utilizarse Spearman, tau-b y tau-c), dos cuantitativas (coeficiente de Pearson), dos ordinales (correlación policórica), etc. Cada combinación de variables tiene su estadístico de correlación, es decir, el tipo de coeficiente de correlación que debe utilizarse depende de la escala de medida de las variables que se relacionen.

Hay dos magnitudes que serán importantes en nuestra investigación cuando analicemos los datos suministrados por los test: la desviación estándar y el error estándar. Están relacionadas, pero no significan lo mismo. La desviación estándar mide lo dispersos que están los valores en un conjunto de datos, mientras que el error estándar es la desviación estándar de la media en muestras repetidas de una población. Cuando calculamos la media de una muestra concreta, lo que nos interesa es la media de la población de la que proviene esa muestra. Como la media de las posibles muestras variarán, utilizamos el error estándar de la media como una forma de medir el grado de precisión de nuestra estimación de la media. La relación entre las dos magnitudes es $e = \frac{s}{\sqrt{n}}$, siendo e el error estándar, s la desviación estándar de la muestra y n el tamaño de la muestra. Si nos fijamos en la fórmula, cuanto mayor sea n, menor será el error estándar, es decir, los tamaños de la muestra más grandes incrementarán la posibilidad de que la media de nuestra muestra se acerque a la media de la población real. En el siguiente apartado seguiremos analizando estas importantes cuestiones.

6.4.2 Estadística inferencial

Si las estadísticas descriptivas se utilizan para describir las características de una muestra, las estadísticas inferenciales se utilizan para inferir algo sobre la población de la que se extrajo la muestra en función de sus características (a menudo expresadas mediante estadísticas descriptivas), lo cual se hace en términos de probabilidad. Queremos generalizar a la población la hipótesis que probamos en nuestra muestra. Por eso la selección de la muestra ha de ser representativa de la población (Salkind, 2012). En síntesis, la estadística inferencial nos va a informar sobre la probabilidad de que los resultados obtenidos con la muestra puedan darse en otros casos de la misma población, lo cual es fundamental en un enfoque cuantitativo de investigación como el nuestro.

Antes de adentrarnos en la explicación de los dos tipos generales de análisis estadísticos que podemos elegir para realizar el contraste de hipótesis, conviene aclarar dos conceptos importantes: la distribución muestral y el nivel de significancia.

6.4.2.1 Distribución muestral

Una **distribución muestral** es un conjunto de valores sobre una estadística calculada de todas las muestras posibles de determinado tamaño de una población (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018). Las distribuciones muestrales de medias son probablemente las más conocidas.

Si calculáramos la media de todas las medias de las muestras extraídas en un estudio, prácticamente obtendríamos el valor de la media poblacional. Aunque casi nunca se obtiene esta distribución muestral (es un concepto teórico). En la práctica, lo que normalmente hacemos es extraer una sola muestra. La cuestión que nos tenemos que plantear es si la media calculada está cerca de la media de la distribución muestral, porque en caso de que lo esté podremos tener una estimación precisa de la media poblacional. Esto se expresa mediante el **teorema del límite central** que, formulado en palabras, afirma lo siguiente (Pardo, Ruiz y San Martín, 2009):

“Si los datos que se recogen son debidos a la suma de cierto número de causas independientes entre sí, cada una con un efecto parcial, la distribución de los datos recogidos se asemejará tanto más a la curva normal cuantos más datos se recojan (cualquiera que sea la distribución original de esos efectos parciales y siempre que la desviación típica de estos efectos sea finita)”.

Simplificando, el teorema del límite central especifica que la distribución muestral de la media se aproxima a una distribución normal al incrementarse el tamaño de la muestra. En la práctica, suele utilizarse la distribución normal como una aproximación a la distribución muestral para tamaños de la muestra mayores de 30 ($n > 30$), pero la distribución muestral de la media puede ser casi normal con muestras de incluso la mitad de ese tamaño (Wackerly, Mendenhall III y Scheaffer,

2008). Si está en duda la normalidad de las distribuciones de la variable en estudio y el tamaño de la muestra es menor de 30, lo indicado será utilizar pruebas no paramétricas (ver apartado 6.5).

La **distribución normal** seguramente sea la distribución más importante en estadística ya que muchos procedimientos asumen que los datos proceden de poblaciones normales. Además, la distribución normal sirve como referencia para describir la distribución de muchos de los datos que se recogen en las investigaciones ya que muchos de los fenómenos observados en el mundo real siguen distribuciones empíricas que se asemejan a la distribución teórica normal. La justificación se encuentra en el teorema del límite central. Pensemos, por ejemplo, en fenómenos del comportamiento humano como el control inhibitorio. La mayoría de las puntuaciones que suministran los test (como el test de Stroop corazón-flor que hemos utilizado en nuestra investigación) se concentran en el centro de la distribución, en tanto que en los extremos encontramos solo algunas puntuaciones (la famosa campana de Gauss; De la Puente, 2018).

6.4.2.2 Nivel de significancia

En la práctica, siempre existen errores en los procesos de selección de las muestras y las inferencias tampoco pueden ser perfectas ya que las poblaciones son demasiado grandes y las muestras extraídas no pueden representarlas exactamente. Cuando hablamos de **nivel de significancia (α)** o significación nos referimos a la probabilidad de acertar o equivocarnos cuando generalizamos un resultado estadístico de la muestra a la población, lo cual se fija de antemano en la investigación, antes de probar las hipótesis inferenciales. ¿Cuál es el porcentaje de confianza del investigador para realizar la generalización? En las investigaciones suelen utilizarse dos niveles convenidos que, por supuesto, no dejan de ser arbitrarios (Wasserstein, Schirm y Lazar, 2019):

- a) Un α de 0,05, el cual implica que tenemos un 95 % (0,95 en términos de probabilidad) de seguridad para generalizar sin equivocarnos. No suelen aceptarse niveles mayores que 0,05.
- b) Un α de 0,01, el cual implica que tenemos un 99 % de seguridad para generalizar sin equivocarnos. Este nivel de significancia más riguroso es muy adecuado cuando las generalizaciones pueden acarrear riesgos para las personas. Por ejemplo, estudios con vacunas, sobre resistencia de materiales, etc.

Para nuestra investigación tomaremos el valor de significancia de resultados al nivel de 0,05 (valores menores de 0,05 o $p < 0,05$); esto indica que existe un 5 % probabilidad de error al aceptar la hipótesis o valor obtenido al aplicar una prueba, o un 5 % de que se rechace la hipótesis nula (la no diferencia entre las muestras ante las puntuaciones especificadas) cuando era verdadera.

En la práctica, podemos tomar decisiones correctas al probar hipótesis (aceptamos una hipótesis verdadera o rechazamos una hipótesis falsa), pero también podemos cometer errores (aceptamos una hipótesis falsa o rechazamos una hipótesis verdadera). La aparición de errores puede

reducirse, por ejemplo, seleccionando muestras representativas, utilizando las pruebas estadísticas apropiadas o a través de un análisis más riguroso de los datos (Cozby y Bates, 2012).

6.5 Pruebas paramétricas vs no paramétricas

Una de las primeras decisiones que hemos de tomar para realizar el contraste de hipótesis es elegir entre la estadística paramétrica y la no paramétrica. En la tabla 10 comparamos los dos tipos de pruebas y se resumen los criterios que nos permitirán decantarnos por una u otra.

Tabla 10. Características de las pruebas paramétricas y no paramétricas (Navarro y Arroyo, 2021)

Prueba paramétrica	Prueba no paramétrica
-Se utiliza con variables dependientes cuantitativas.	-Se utiliza con variables dependientes cualitativas
-Muestra amplia ($n \geq 30$) o cumplir con el supuesto de normalidad	-No requiere de tamaño mínimo recomendado. No necesita cumplir con el supuesto de normalidad.
-Si se comparan grupos deben ser homogéneos, es decir con una dispersión (varianza) equivalente en la variable dependiente (homocedasticidad).	-No es necesaria la homogeneidad de los grupos.

Las pruebas paramétricas requieren variables dependientes cuantitativas que sigan una distribución normal, es decir, se asume el conocimiento de las características de la población para hacer inferencias de forma segura. Mientras que en las pruebas no paramétricas (también llamadas de distribución libre) no se hacen suposiciones sobre la población, generalmente porque sus características son desconocidas, es decir, los datos son difíciles de cuantificar (Cohen, Manion y Morrison, 2018).

Las pruebas no paramétricas reúnen las siguientes características (Berlanga y Rubio, 2012):

- 1) Son más fáciles de aplicar (podríamos decir que son pruebas menos restrictivas, pero también menos sensibles, es decir, es más difícil lograr la significancia).
- 2) Son aplicables a los datos jerarquizados.
- 3) Se pueden usar cuando dos series de observaciones provienen de distintas poblaciones.
- 4) Son la única alternativa cuando el tamaño de muestra es pequeño.
- 5) Son útiles a un nivel de significancia previamente especificado.

Es bastante frecuente en las investigaciones, tal como hemos comprobado en la práctica, que no se dé la normalidad de las distribuciones de la variable o que el tamaño de la muestra sea menor de 30. En esos casos está indicado el uso de pruebas no paramétricas. En función del tipo de estadística inferencial y del problema de investigación en cuestión, seleccionaremos la prueba que nos permita responder a las hipótesis estadísticas planteadas.

En la tabla 11 se muestran las pruebas más utilizadas para llevar a cabo el contraste de hipótesis. En nuestro caso concreto, nos permitirán deducir si existen diferencias entre los diferentes grupos de estudiantes. La elección de una u otra prueba dependerá, por ejemplo, del tipo de medida de la variable dependiente o del número de grupos que comparamos y si están relacionados o son independientes. En la tabla 11 podemos ver que las diferentes pruebas están clasificadas según el número de muestras (una, dos o más) y el tipo de muestra. Se entiende por **muestras relacionadas** aquellas en las que se comparan a los mismos participantes en diferentes momentos temporales. En nuestro caso, en el pretest y en el postest. Mientras que las **muestras independientes** se seleccionan de forma que no exista relación entre los integrantes de cada una de ellas, es decir, son participantes distintos. En nuestra intervención, por ejemplo, los grupos experimentales frente al grupo de control.

Tabla 11. Pruebas estadísticas para la comparación de grupos (Berlanga y Rubio, 2012; Navarro y Arroyo, 2021)

Muestra	Prueba paramétrica	Prueba no paramétrica	Variables
1 muestra	t de Student para una muestra	Chi cuadrado como bondad de ajuste	VD ordinal o nominal
Muestras relacionadas			
2 muestras	t de Student para muestras relacionadas	W de Wilcoxon McNemar	VD ordinal Variables dicotómicas
Más de 2 muestras	ANOVA de medidas repetidas	Friedman Q de Cochran	VD y VI nominal VD ordinal
Muestras independientes			
2 muestras	t de Student para muestras independientes	U de Mann-Whitney Chi Cuadrado para la independencia Coeficiente de contingencia	VD Ordinal VD nominal VD y VI dicotómicas
Más de 2 muestras	ANOVA	H de Kruskal-Wallis Chi cuadrado para la independencia	VD Ordinal VD Nominal

A continuación, pasamos a describir de forma muy resumida cada una de estas pruebas (Berlanga y Rubio, 2012; Navarro y Arroyo, 2021; Pardo, Ruiz y San Martín, 2009; Pardo y San Martín, 2010; Wackerly, Mendenhall III y Scheaffer, 2008), clasificándolas por el tipo de muestras. Nos centramos en las pruebas que hemos utilizado en nuestra investigación. Básicamente, las pruebas

paramétricas t de Student y ANOVA y las pruebas no paramétricas W de Wilcoxon, U de Mann-Whitney y H de Kruskal-Wallis.

Para una muestra, la prueba **t de Student** permite comprobar si es posible aceptar que la media de la población es un valor concreto. Esta prueba puede responder preguntas del tipo: ¿podemos afirmar que el tiempo medio de respuestas correctas en la prueba child ANT de una muestra de 50 estudiantes es menor que 2000 ms?

A continuación, analizamos las pruebas para más muestras (dos o más de dos) y según sean relacionadas o independientes.

6.5.1 Muestras relacionadas

Para dos muestras relacionadas, la prueba **t de Student** permite comparar las puntuaciones de los participantes en momentos temporales distintos. Imaginemos, por ejemplo, que queremos analizar entre estudiantes de educación infantil si el desempeño en memoria de trabajo utilizando el test de Corsi es el mismo al inicio de una intervención que dos meses después.

Con muestras grandes la ausencia de normalidad en la distribución poblacional no es un problema importante. Pero cuando se junta que la distribución no es normal y/o que hay que trabajar con muestras pequeñas, la prueba t de Student pierde precisión. Como excelente alternativa, disponemos de la **prueba de Wilcoxon** que permite comparar los centros (medianas) de dos variables cuantitativas sin necesidad de asumir normalidad. En nuestra investigación la hemos utilizado, por ejemplo, cuando no se cumplieron los supuestos de normalidad y comparamos los resultados del test de Corsi para los grupos experimentales CI y S de cada una de las escuelas entre el pretest y el postest. O en comparaciones entre testeos en el test child ANT.

Valen los mismos ejemplos que para la prueba t de Student. Puede parecer que es el tipo de problema el que determinará si usas una prueba u otra, pero en realidad, frente a un mismo problema lo que se hace es analizar los datos buscando homocedasticidad (varianzas homogéneas) y normalidad. Si se dan, entonces se hace el test paramétrico. Si no se dan, entonces se hacen test no paramétricos.

En nuestra investigación, utilizamos las **pruebas de Levene** (1960) y **Shapiro-Wilk** (Shapiro y Wilk, 1965) para valorar si se cumplieron los supuestos de homocedasticidad y normalidad de los datos, respectivamente. La hipótesis nula en la prueba de Levene es que las varianzas son iguales en todas las muestras. Si la significación es mayor que el 5 % ($p > 0,05$) se mantendrá la hipótesis nula y no habrá diferencias entre los grupos analizados. Mientras que la prueba de Shapiro-Wilk nos da un valor (el estadístico; ver tabla 12) que si es pequeño nos indicará que la muestra no sigue una distribución normal (se rechaza la hipótesis nula). Si el valor de p es menor que 0,05 asumiremos que los datos no están distribuidos normalmente.

Para más de dos muestras relacionadas, la prueba **ANOVA (análisis de varianza) de medidas repetidas** permite analizar los datos procedentes de un diseño con un solo grupo de participantes y un único factor por cuyos niveles pasan todos los participantes. Se trata de una generalización de la prueba t de Student para muestras relacionadas al caso de más de dos variables. Imaginemos, por ejemplo, que queremos valorar el efecto del paso del tiempo en el desarrollo de la competencia lingüística de los estudiantes durante todo el segundo ciclo de educación infantil (tres cursos). Una prueba ANOVA nos puede indicar si los resultados son significativos, pero no dónde se encuentran esas diferencias. Después de ejecutar una ANOVA y encontrar resultados significativos, podemos utilizar el **método de Tukey** para saber qué medias de grupos (comparadas entre sí) son diferentes. Es lo que hicimos en nuestra investigación al analizar los datos sobre la atención de alerta en el test child ANT. Cuando el análisis estadístico de la proporción de respuestas correctas nos mostró significancia en el factor grupo, utilizamos el método de Tukey para comparar los grupos a pares con los dos tipos de ensayos de la atención de alerta (ver tabla 20 del apartado 7.1.2).

Aunque no la hemos utilizado en nuestra investigación, mencionar que la prueba de **Friedman** es una extensión de la prueba de Wilcoxon para incluir datos recogidos en más de dos periodos de tiempo o grupos de tres o más participantes pareados. La prueba analiza los rangos de los datos generados en cada periodo de tiempo para valorar si las variables comparten la misma distribución continua de su origen. No requiere normalidad. Imaginemos, por ejemplo, que queremos conocer si la práctica de un deporte por parte de un niño evoluciona con el tiempo (nada, poco, mucho). Mientras que la prueba **Q de Cochran** es idéntica a la prueba de Friedman, pero se aplica cuando todas las respuestas son dicotómicas.

6.5.2 Muestras independientes

La prueba **t de Student** es la herramienta estadística más conocida y utilizada. Permite trabajar simultáneamente con una variable categórica que define dos grupos y una variable cuantitativa. Imaginemos, por ejemplo, que queremos contrastar la hipótesis de que la media en rendimiento en un test que evalúa la memoria de trabajo es igual en las niñas y niños de una escuela (rendimiento en función del sexo).

Mientras que la prueba de **Mann-Whitney** es una excelente alternativa a la prueba t de Student para muestras independientes cuando no se cumple el supuesto de normalidad o cuando no es adecuado utilizar la prueba t porque el nivel de medida de la variable cuantitativa es ordinal. Sirve, por ejemplo, para valorar en alguna variable de interés dos colectivos diferentes, la eficacia de dos tratamientos o para comparar un grupo experimental con uno de control. Imaginemos, por ejemplo, que queremos evaluar si hay diferencias en la puntuación media de la atención ejecutiva en niños que juegan tres horas diarias o más a videojuegos y los que lo hacen menos.

En nuestra investigación utilizamos esta prueba para comparar las notas entre los grupos en el pretest, por ejemplo. O en el test TONI-4, tomando el tiempo de respuesta como promedio, para comparar los resultados de los grupos S y CI en el pretest.

Para más de dos muestras, la prueba **ANOVA** sirve para compararlas respecto a alguna variable cuantitativa de interés. Imaginemos, por ejemplo, que queremos saber si el rendimiento de los estudiantes en una asignatura concreta es el mismo ante diferentes niveles de estrés (bajo, medio y alto).

Mientras que la prueba de **Kruskal-Wallis** es una alternativa a la prueba ANOVA cuando se incumple el supuesto de normalidad o la igualdad de varianzas poblacionales. De hecho, la ventaja de la prueba de Kruskal-Wallis respecto al análisis de varianza es que no necesita establecer supuestos tan exigentes sobre las poblaciones originales (lo cual es válido para cualquier test no paramétrico) y, además, permite trabajar con datos ordinales. Aunque en el caso de que se cumplan los supuestos, el análisis de varianza es más potente. Al igual que con la prueba ANOVA, seguimos trabajando con una variable categórica que define grupos (más de dos en este apartado) y una variable cuantitativa en la cual deseamos comparar los grupos. Imaginemos, por ejemplo, que queremos analizar si hay diferencia en el número de horas diarias que pasan los estudiantes viendo la televisión según el estatus socioeconómico familiar (alto, medio y bajo).

En nuestra investigación hemos utilizado esta prueba, por ejemplo, para comparar los resultados entre los tres grupos (dos experimentales y uno de control) y también entre las tres escuelas en el test child ANT.

6.6 Consideraciones éticas

Al final del capítulo 2 ya introdujimos la importancia de las cuestiones éticas a las que se tenía que enfrentar cualquier investigación neuroeducativa. Es lo que se conoce como neuroética educativa (Lalancette y Campbell, 2012).

En lo referente a los aspectos éticos en el mundo de la investigación, hay dos cuestiones especialmente relevantes que conviene analizar. Por una parte, todo lo relacionado con la forma en que se tratan a las personas que participan en la investigación. Un alto porcentaje de los estudios que se desarrollan en educación conllevan la participación de estudiantes que son menores de edad, por lo que es necesario cumplir ciertas normas éticas que garanticen sus derechos y dignidad. En nuestro caso concreto, la responsabilidad como investigadores es mayor ya que participan niñas y niños de la etapa de infantil con solo cuatro años de edad, en promedio. Por otra parte, los aspectos asociados a los propios investigadores. Por ejemplo, todo lo que se hace con la información obtenida de los participantes.

Según la Asociación Británica de Investigación Educativa, toda investigación educativa debe conllevar una serie de condiciones. Mencionamos algunas que consideramos muy importantes (BERA, 2018):

- a) Ha de respetar la privacidad, la autonomía, la diversidad, los valores y la dignidad de las personas, los grupos y las comunidades.
- b) Debe desarrollarse con integridad en todo momento, empleando los métodos más apropiados para el propósito de la investigación. Se ha de eliminar, por ejemplo, la coacción.
- c) Los investigadores deben actuar de acuerdo con sus responsabilidades sociales en la realización y difusión de sus investigaciones, evitando la falsificación y plagio de la información.
- d) El objetivo ha de ser maximizar los beneficios y minimizar los daños (físicos o psicológicos) de los participantes durante la intervención, protegiendo los derechos y el bienestar de los participantes de la investigación y evitando cualquier tipo de discriminación.

También resulta necesario garantizar la confidencialidad de los participantes, principalmente en el proceso de difusión de los resultados y no se debe implicar a los participantes en la investigación sin estar previamente informados y tener su consentimiento (AERA, 2011)

En el caso concreto de la infancia, se requiere un tratamiento específico que también tiene en cuenta todo lo mencionado anteriormente. Algunas pautas esenciales son la siguientes (Salkind, 2011):

1. Los derechos del niño reemplazan los derechos del investigador sin importar la edad del niño.
2. Si hay cambios en los procedimientos aprobados que puedan afectar la conducta ética de la investigación, se debe realizar una consulta con colegas o expertos.
3. El niño debe estar completamente informado sobre el proceso de investigación (en un lenguaje acorde a su edad), y todas las preguntas deben responderse de una manera que pueda entender. Si el niño es demasiado pequeño, entonces el representante del niño (padres o tutores) debe participar de cerca en todas las discusiones.
4. Se debe obtener por escrito el consentimiento informado de los padres, maestros o cualquier persona legalmente responsable del bienestar del niño.
5. También se debe obtener el consentimiento informado de otras personas involucradas en el experimento, además del niño en particular (sea por escrito u oral).
6. Deben quedar claras las responsabilidades del niño y del investigador.
7. Cuando sea necesario engañar, un comité de pares del investigador debe aprobar los métodos planificados.
8. Los hallazgos de cualquier estudio deben ser compartidos con los participantes de una forma que sea comprensible para ellos.
9. Los investigadores deben tener especial cuidado con la forma en que informan los resultados a los niños y no deben presentar los resultados en forma de consejos.

10. Si los tratamientos son efectivos, a los grupos de control se les deben ofrecer oportunidades similares para recibir el tratamiento.

11. Estos estándares éticos deben ser presentados a los estudiantes en el curso de su formación.

Quizás la herramienta más utilizada, rápida, sencilla e importante que disponemos para poder tener un comportamiento ético con las personas que participan en una investigación sea el **consentimiento informado**. Es un documento en el que se informa a los futuros participantes, y a sus familias, sobre los objetivos de la investigación, sus posibles beneficios y riesgos, quienes son los responsables del estudio, lo que se hará, el tiempo que durará..., garantizando que la participación es voluntaria y anónima. Este documento tiene que estar firmado por la institución correspondiente y debería utilizar un lenguaje no técnico que fuera de fácil comprensión. Y también tiene que aparecer un espacio para la firma del participante o un tutor indicando que entiende el objetivo de la investigación y está de acuerdo en participar. Aunque se espera que los investigadores permanezcan sensibles y abiertos a la posibilidad de que los participantes deseen, por cualquier razón y en cualquier momento, retirar su consentimiento. Se debe dejar claro a los participantes que pueden retirarse en cualquier momento sin necesidad de dar una explicación (BERA, 2018).

En nuestra investigación, los padres o tutores de los niños entregaron un consentimiento informado para participar del estudio. Este consentimiento cuenta con la aprobación de un comité de ética (Cemic-Conicet). Y también tuvieron que firmar un documento de consentimiento las directoras de las escuelas en las que se desarrolló la investigación. Sin olvidar que la participación de los niños es voluntaria en todo momento.

Adicionalmente, en algunos casos se cree que es conveniente que los participantes reciban algún tipo de compensación por su participación en el estudio (Creswell y Creswell, 2018). Por ejemplo, algún tipo de regalo, reconocimiento, capacitación, información, etc. Así lo entendimos. Especialmente por ser los participantes estudiantes en la etapa de infantil. El final de la investigación fue celebrado, como cualquier otro proyecto educativo, con los correspondientes diplomas y reconocimientos. Y sirvió para seguir trabajando una gran variedad de contenidos educativos vinculados al cerebro, en general, y a las funciones ejecutivas, en particular. De hecho, una vez acabada la intervención, se abrió la plataforma online de acceso libre para que los niños que quisieran pudieran seguir jugando a Mate Marote.

Además de considerar los principios éticos con los participantes, los investigadores también deben estar sujetos a criterios básicos como la honestidad o integridad. Ello requiere, entre otras muchas cosas, no manipular la información recogida, describir de forma detallada el proceso seguido en la investigación y los resultados obtenidos, asegurar que los colaboradores no falseen

los análisis, etc. Todo en consonancia con los aspectos del código ético de integridad y buenas prácticas de la Universitat de Barcelona (Vicerektorat de Recerca de la Universitat de Barcelona, 2020).

Mate Marote se encuadra, conceptual y operativamente, dentro de las regulaciones internacionales sobre los derechos de los niños, niñas y adolescentes y en las teorías psicológicas actuales acerca del desarrollo emocional y moral. Los procedimientos aquí descritos se adecuan a los principios éticos establecidos por los organismos internacionales en relación con el cuidado y respeto de los derechos de los niños, niñas y adolescentes; fundamentalmente aquellos establecidos por la Convención de las Naciones Unidas sobre los Derechos de los Niños y los principios de ética para la investigación de la Asociación Americana de Psicología.

El buen funcionamiento de los estándares éticos compartidos en este apartado, dependen de la acción responsable de las personas encargadas de las investigaciones que velan por su cumplimiento. Por nuestra parte, creemos que hemos respetado en todo momento los aspectos éticos que hemos mencionado.

IDEAS CLAVE

- En nuestra investigación se han utilizado diferentes test para evaluar varias habilidades cognitivas importantes como la atención ejecutiva (test child ANT), el control inhibitorio y la flexibilidad cognitiva (test de Stroop corazón-flor), la memoria de trabajo visuoespacial (test de Corsi) y la inteligencia fluida (test TONI-4).
- Las maestras responsables de cada una de las clases, ciegas a las hipótesis experimentales, nos suministraron informes sobre el desempeño de los estudiantes en áreas concretas del currículo de infantil (conocimiento de sí mismo y autonomía personal, el conocimiento del entorno y lenguajes: comunicación y representación).
- Se les pidió a las familias información que permitiera estimar el estatus socioeconómico familiar (SES) a través de una escala que se utilizó en el estudio original de Goldin *et al.* (2014). El SES es un constructo que abarca diferentes variables, siendo las más utilizadas el nivel educativo de los padres, su nivel ocupacional y el salario familiar.
- El análisis cuantitativo de la información se realiza mediante técnicas de análisis estadístico. Hemos utilizado pruebas paramétricas y no paramétricas. Las primeras requieren variables dependientes cuantitativas que sigan una distribución normal, mientras que en las segundas no se necesita cumplir con el supuesto de normalidad.
- Existen una serie de criterios éticos que se han de cumplir en las investigaciones, especialmente cuando los participantes son niños. Una herramienta importante y sencilla que hemos utilizado es el consentimiento informado, que garantiza, entre otras cosas, que la participación es voluntaria y anónima.

III. RESULTADOS

CAPÍTULO 7.

Resultados del pretest

CAPÍTULO 7. Resultados del pretest

En este tercer bloque de la tesis presentamos los resultados de acuerdo con los objetivos generales y específicos de nuestra investigación y en función del marco metodológico establecido previamente.

Para facilitar el seguimiento de la información suministrada, dividimos el bloque en dos capítulos. En el primero, comparamos los resultados obtenidos en los pretest para cada una de los grupos y también para las escuelas. Recordamos que los integrantes de los dos grupos experimentales, S (sinergia) y CI (control inhibitorio), fueron asignados aleatoriamente a la Escuela 1 y la Escuela 2, mientras que los estudiantes de la Escuela 3 constituyeron el grupo de control. En el segundo capítulo del bloque analizamos los efectos de la intervención comparando los resultados del pretest y el posttest.

El análisis estadístico corresponde a diferentes pruebas que miden diferentes habilidades cognitivas: el test child ANT (atención ejecutiva, atención de alerta y atención de orientación; Rueda *et al.*, 2004a), el test de Stroop corazón-flor (control inhibitorio y flexibilidad cognitiva; Davidson *et al.*, 2006), el test de Corsi (memoria de trabajo visuoespacial; Corsi, 1973), el test TONI-4 (razonamiento abstracto; Brown *et al.*, 2010) y los informes de evaluación del curso (aprendizaje vinculado a las áreas de conocimiento). En todos los casos compartimos gráficos que nos ayudan a visualizar los resultados y tablas que aportan los datos relevantes de los análisis estadísticos realizados. Asumiendo que las representaciones gráficas ayudan a entender la información, pero solo son los datos suministrados por los análisis estadísticos los que nos permiten interpretar los procesos estudiados. Todos los procedimientos estadísticos se realizaron en el lenguaje de programación Python 3.8 utilizando las bibliotecas Pandas, Numpy, Matplotlib, Seaborn, Scipy y los paquetes estadísticos Statsmodels y Pingouin.

Utilizamos las pruebas de Levene y Shapiro-Wilk (ver apartado 6.5.1) para valorar si se cumplieron los supuestos de homocedasticidad (varianzas homogéneas) y normalidad de los datos, respectivamente (ver tablas 12, 13 y 14). Cuando se cumplieron, aplicamos las pruebas t de Student (cuando comparamos dos muestras) o ANOVA (para más de dos muestras, como en el caso de la comparación entre grupos o entre escuelas). Y, cuando no se cumplieron los supuestos, aplicamos las correspondientes pruebas no paramétricas. En este capítulo aplicaremos la prueba de Mann-Whitney para comparar de forma específica pares de grupos en los tiempos de respuesta de la atención de orientación y en la proporción de aciertos. También para comparar pares de grupos y escuelas en los tiempos de respuesta del test de Corsi o en los informes de las escuelas. La prueba de Kruskal-Wallis la utilizaremos para comparar los tres grupos en los

tiempos de respuesta del test child ANT y para comparar los tres grupos y las tres escuelas en el test TONI-4 y en los tiempos de respuesta del test de Corsi. Mientras que la prueba de Wilcoxon la utilizaremos en el capítulo 8 cuando hagamos comparaciones de grupos y escuelas entre el pretest y el postest.

Recordamos que en nuestra investigación tomamos el valor de significancia de resultados al nivel de 0,05 (valores menores de 0,05 o $p < 0,05$).

Tabla 12. Normalidad y homogeneidad entre las muestras para el test child ANT

	Normalidad		Homogeneidad entre las muestras			
	U	p	U	p	U	p
TR Ejecutiva	0,97	0,006	1,44	0,24	1,30	0,28
RC Ejecutiva	0,99	0,12	0,36	0,70	2,04	0,14
TR Alerta	0,99	0,15	1,29	0,28	0,30	0,74
RC Alerta	0,99	0,33	0,32	0,73	0,82	0,44
TR Orientación	0,99	0,02	2,25	0,11	1,48	0,23
RC Orientación	0,99	0,12	3,69	0,03	2,38	0,10

TR=tiempo de respuesta; RC=proporción de respuestas correctas; U=estadístico de la prueba; p=valor p.

Tabla 13. Normalidad y homogeneidad entre las muestras para la tarea de Stroop corazón-flor

	Normalidad		Homogeneidad entre las muestras			
	U	P	U	p	U	p
TR Control inhibitorio	0,997	0,996	2,16	0,12	0,65	0,52
RC Control inhibitorio	0,98	0,07	0,51	0,60	0,91	0,41
TR Flexibilidad cogn.	0,97	0,016	1,31	0,28	0,27	0,76
RC Flexibilidad cogn.	0,98	0,025	1,50	0,23	1,30	0,28

Tabla 14. Normalidad y homogeneidad entre las muestras para el test de Corsi, el test TONI-4 e informes

	Normalidad		Homogeneidad entre las muestras	
	U	p	U	p
SC Corsi	0,98	0,53	0,42	0,66
RT Corsi	0,96	0,002	1,71	0,17
DF TONI-4	0,94	0,002	0,42	0,66
RT TONI-4	0,82	8,24e-17	2,05	0,13
Inf. maestras	0,81	4,15e-06	0,087	0,77

SC=*score*; DF=nivel de dificultad; Inf.=Informes

7.1 Test child ANT

Tal como analizamos en el apartado 6.2.1, la tarea utilizada en nuestra intervención fue una versión reducida del test child ANT compuesta por 72 ensayos divididos en dos bloques de 32 y 8 ensayos que sirvieron de práctica inicial antes de comenzar el test. Los tres bloques tenían diferentes animales y colores de fondo y se permitió a los niños que descansaran entre bloques. Aun así, la gran mayoría continuaron jugando sin mostrar fatiga durante la prueba. El tiempo de presentación de los estímulos en la pantalla fue de 2500 ms, mientras que el intervalo de tiempo entre ensayos fue de 1000 ms. Se descartaron algunas respuestas impulsivas ya que se dieron para tiempos debajo de los 250 ms. Toda la prueba duró unos 15 minutos.

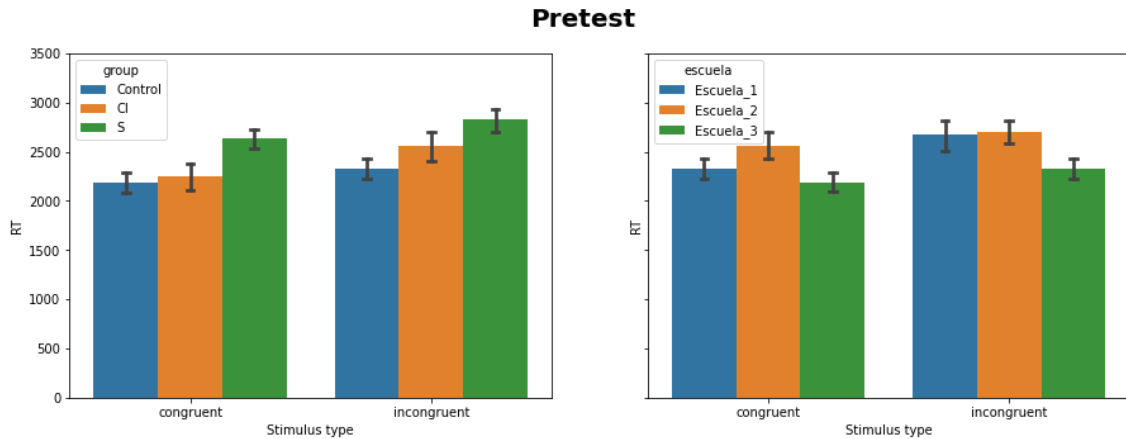
A continuación, analizamos los tiempos de respuesta y las proporciones de aciertos en los ensayos para cada una de las redes atencionales. El test child ANT permite contrastar la ejecución de la tarea en términos de velocidad de respuesta y de precisión en condiciones distintas según el tipo de atención que queramos evaluar (ver apartado 6.2.1). En nuestro caso serán: condiciones de flancos congruentes vs incongruentes (puntuación de atención ejecutiva), condiciones con doble señal vs sin señal (puntuación de alerta) y condiciones de orientación con señales centrales vs espaciales (puntuación de orientación). El análisis del rendimiento de cada grupo para cada tipo de atención se hizo a partir de promediar las proporciones de ensayos correctos y la mediana de tiempos de respuesta (solo para los ensayos correctos) de cada niño.

7.1.1 Atención ejecutiva

Las puntuaciones de atención ejecutiva se obtienen de la comparación de ensayos incongruentes y congruentes. En lo referente a los tiempos de respuesta, se esperaría que fueran mayores en los ensayos incongruentes que en los congruentes. Esta tendencia puede observarse en la figura 20,

tanto en la comparativa entre grupos, como entre las escuelas, para el pretest. En los dos tipos de ensayos, los tiempos de respuesta fueron menores para el grupo de control y para la Escuela 3. El análisis estadístico reveló diferencias por grupo y tipo de ensayo (ver tabla 15).

Figura 20. Tiempos de respuesta para los ensayos de la atención ejecutiva en el pretest del test child ANT



RT (en ms). Muestra: nCI=21, nS=19, nC=36.

Tabla 15. Regresión lineal para los tiempos de respuesta de la atención ejecutiva en el pretest del test child ANT

	sum_sq	df	F	PR (>F)
C(group)	5,54e+06	2,0	7,92	0,00054
C(stimulus_type)	1,54e+06	1,0	4,43	0,0370
C(group):C(stimulus_type)	1,86e+05	2,0	0,27	0,77
Residual	5,10e+07	146,0	NaN	NaN

Comparativa por grupo, tipo de estímulo y grupo con estímulo. En negrita se marcan los valores significativos.

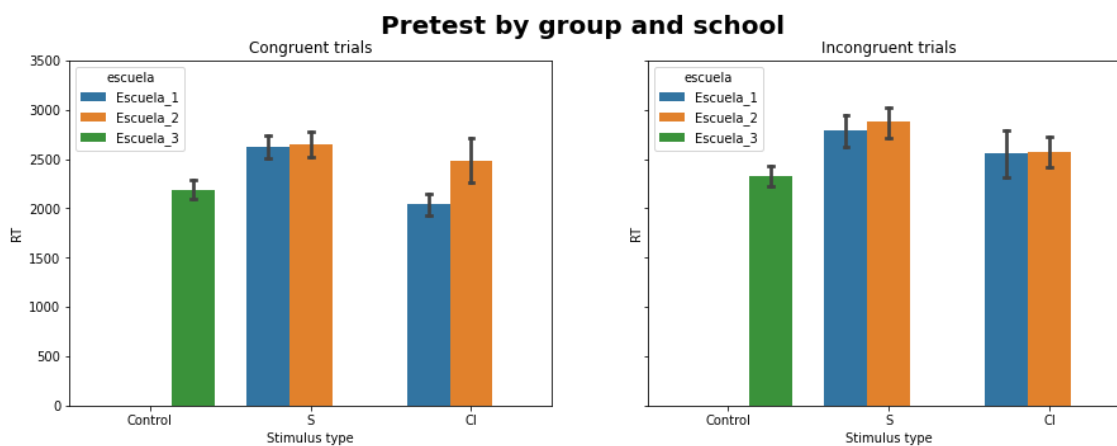
Pasamos la prueba de Kruskal-Wallis para comparar en el pretest los diferentes tipos de ensayos por grupos y escuelas, pero la prueba no reveló significancia de los factores, tal como vemos en la tabla 16. Como en el resto de redes atencionales tampoco se cumplieron los supuestos de normalidad, aprovechamos para compartir en esa misma tabla los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis para el resto de ensayos del test child ANT.

Tabla 16. Análisis de Kruskal-Wallis para los tiempos de respuesta de las tres redes atencionales en el pretest del test child ANT

	U	p
TR Congruente Ejecutiva	2,48	0,29
TR Incongruente Ejecutiva	3,65	0,16
TR Doble señal Alerta	9,86	0,0072
TR Sin señal Alerta	6,70	0,035
TR Espacial Orientación	8,58	0,014
TR Central Orientación	10,73	0,0047

Desglosando el análisis por grupos y escuelas para los dos tipos de ensayos, apreciamos en la figura 21 un menor tiempo de respuesta del grupo CI de la Escuela 1 respecto al grupo CI de la Escuela 2 en los ensayos congruentes. Los grupos S de las dos escuelas obtuvieron resultados similares para los dos tipos de ensayos.

Figura 21. Tiempos de respuesta para los ensayos de la atención ejecutiva por grupo y escuela en el pretest del test child ANT

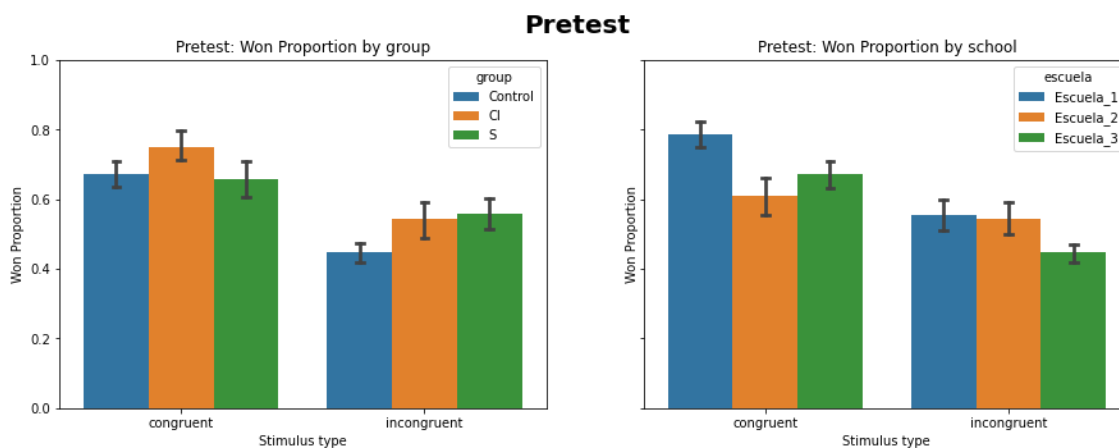


RT (en ms).

En cuanto a la proporción de ensayos acertados, fue mayor en los ensayos congruentes que en los incongruentes para todos los grupos, tal como podría esperarse (ver figura 22). En la comparación entre grupos, observamos que la proporción de respuestas correctas fue mayor en el grupo CI para ensayos congruentes, mientras que el grupo de control obtuvo peores resultados que los dos grupos experimentales para los ensayos incongruentes. Mientras que, en la comparación entre

escuelas, la proporción de aciertos en la Escuela 1 fue mayor que en las otras dos escuelas en los ensayos congruentes.

Figura 22. Proporción de respuestas correctas para los ensayos de la atención ejecutiva en el pretest del test child ANT



Proporción de respuestas correctas (en tanto por uno).

El análisis estadístico reveló que la significancia en los resultados para la proporción de aciertos se dio entre los dos tipos de ensayos (ver tabla 17), pero no entre los diferentes grupos (experimentales vs control).

Tabla 17. Regresión lineal para la proporción de aciertos de la atención ejecutiva en el pretest del test child ANT

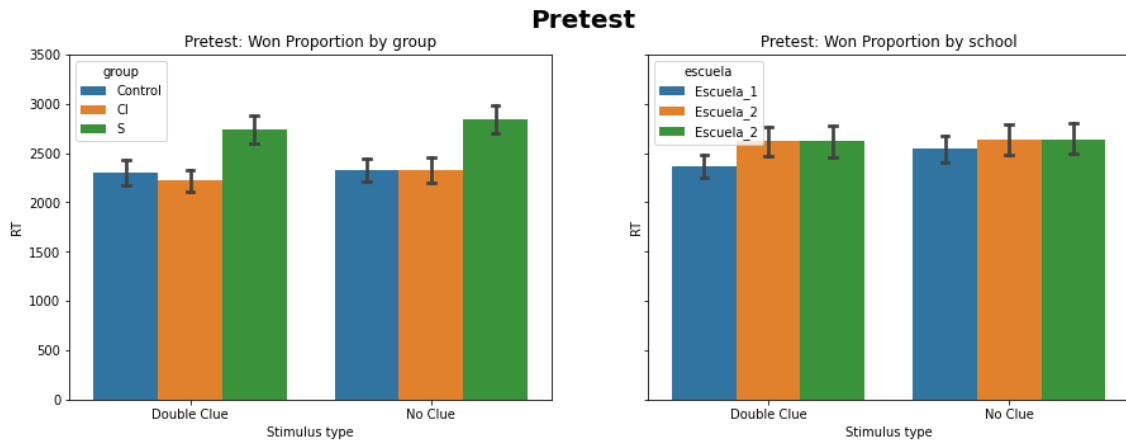
	sum_sq	df	F	PR (>F)
C(group)	0,21	2,0	2,40	9,40e-02
C(stimulus_type)	1,37	1,0	31,07	1,16e-07
C(group):C(stimulus_type)	0,10	2,0	1,17	3,13e-01
Residual	6,42	146,0	NaN	NaN

7.1.2 Atención de alerta

Las puntuaciones de la red de alerta se obtienen de la comparación de los ensayos sin señal y de doble señal. La justificación de esta comparación es que la doble señal proporciona una señal temporal que indica el inicio del ensayo y activa la red de alerta.

Respecto de los tiempos de respuesta, aunque podríamos esperar que los ensayos sin señal fueran más lentos que los de doble señal, los resultados fueron similares. El grupo S mostró peor rendimiento en los dos tipos de ensayos que el grupo CI en el pretest (ver figura 23). Los resultados por escuelas fueron parecidos.

Figura 23. Tiempos de respuesta para los ensayos de la atención de alerta en el pretest del test child ANT



RT en ms. Muestra: nCI=20, nS=20, nC=36.

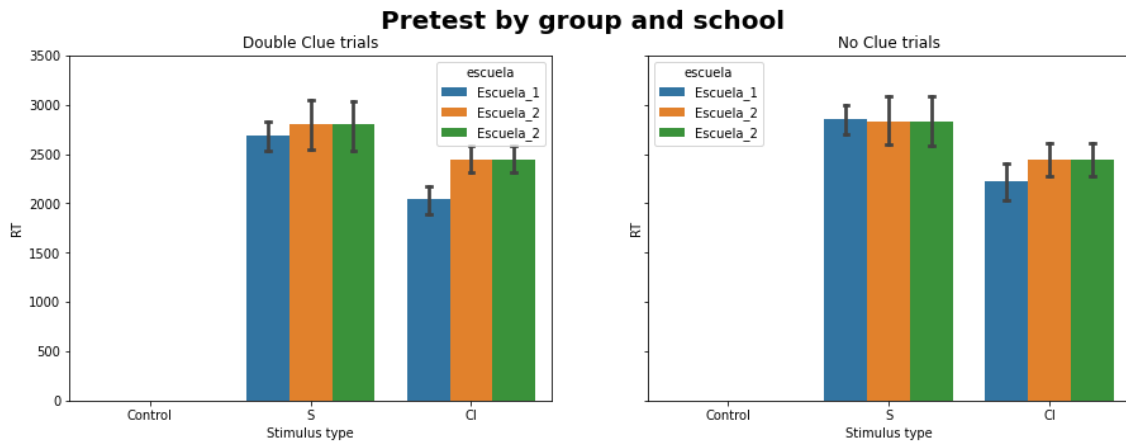
El análisis estadístico reveló diferencias entre grupos (ver tabla 18). Aplicamos la prueba de Kruskal-Wallis en esta fase para comparar los diferentes tipos de estímulos por grupos y se encontró significancia para los dos tipos de ensayos, que fue mayor para los de doble señal (ver tabla 16).

Tabla 18. Regresión lineal para los tiempos de respuesta de la atención de alerta en el pretest del test child ANT

	sum_sq	df	F	PR (>F)
C(group)	7,12e+06	2,0	7,93	0,00054
C(clue_type)	1,65e+05	1,0	0,37	0,55
C(group):C(clue_type)	7,05e+04	2,0	0,08	0,92
Residual	6,56e+07	146,0	NaN	NaN

En la figura 24 se muestra la representación gráfica de lo analizado por grupos y escuelas para los dos tipos de ensayos. Observamos mejores tiempos de respuesta para los grupos CI que para los grupos S de las dos escuelas.

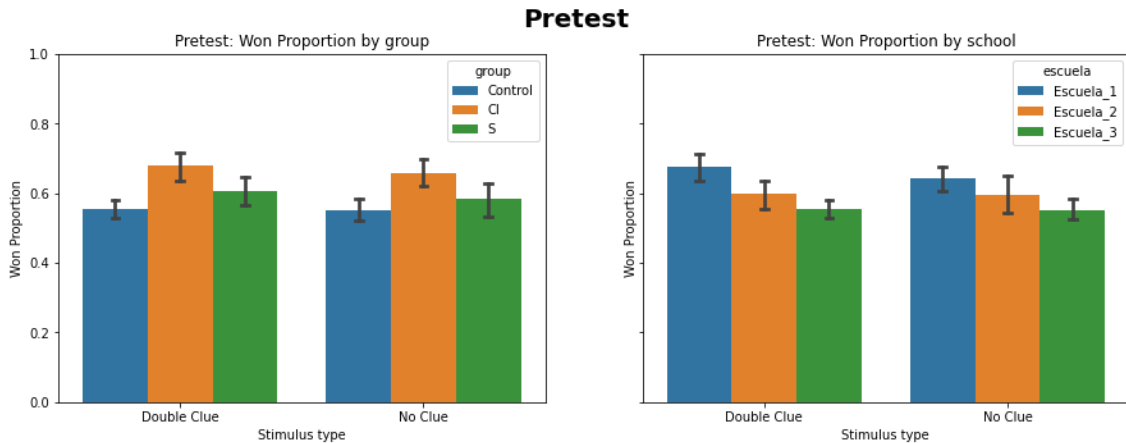
Figura 24. Tiempos de respuesta para los ensayos de la atención de alerta por grupo y escuela en el pretest del test child ANT



RT en ms.

En lo referente a la proporción de ensayos acertados con doble señal y sin señal también fue similar, tanto entre grupos, como entre escuelas (ver figura 25).

Figura 25. Proporción de respuestas correctas para los ensayos de la atención de alerta en el pretest del test child ANT



Ensayos de doble señal (*double clue*) y sin señal (*no clue*).

El análisis estadístico mostró diferencias entre grupos (ver tabla 19), pero cuando se compararon los grupos por pares con el método de Tukey (ver apartado 6.5.1) no se hallaron diferencias significativas entre los diferentes tipos de ensayos (ver tabla 20).

Tabla 19. Regresión lineal para la proporción de aciertos de la atención de alerta en el pretest del test child ANT

	sum_sq	df	F	PR (>F)
C(group)	0,34	2,0	5,07	0,0074
C(clue_type)	0,0056	1,0	0,17	0,68
C(group):C(clue_type)	0,0027	2,0	0,040	0,96
Residual	4,87	146,0	NaN	NaN

Tabla 20. Análisis de Tukey por grupos y ensayos para la proporción de aciertos de la atención de alerta en el pretest del test child ANT

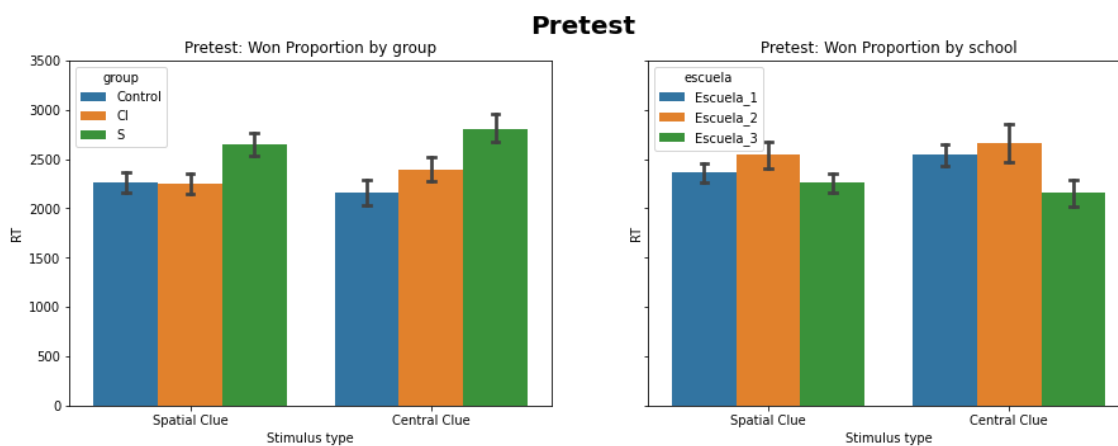
	Group1	Group2	meandiff	p-adj
0	CI/Double clue	CI/No clue	-0,0187	0,9995
1	CI/Double clue	Control/Double clue	-0,1224	0,1619
2	CI/Double clue	Control/No clue	-0,1257	0,1401
3	CI/Double clue	S/Double clue	-0,0732	0,8022
4	CI/Double clue	S/No clue	-0,0945	0,5757
5	CI/No clue	Control/Double clue	-0,1036	0,3278
6	CI/No clue	Control/No clue	-0,1070	0,2924
7	CI/No clue	S/Double clue	-0,0544	0,9347
8	CI/No clue	S/No clue	-0,0757	0,7781
9	Control/Double clue	S/Double clue	-0,0034	1,0000
10	Control/Double clue	S/No clue	0,0492	0,9278
11	Control/Double clue	S/No clue	0,0279	0,9940
12	Control/No clue	S/Double clue	0,0526	0,9062
13	Control/No clue	S/No clue	0,0312	0,9899
14	S/Double clue	S/No clue	-0,0213	0,9991

7.1.3 Atención de orientación

Las puntuaciones de la atención de orientación se obtienen de la comparación de ensayos con orientación centrales y espaciales. La justificación de esta comparación es que los ensayos de señales espaciales proporcionan información que puede desencadenar una asignación exógena de la atención a la posición del objetivo.

En referencia a los tiempos de respuesta en el pretest, observamos en la figura 26 que los tiempos del grupo S son mayores en los dos tipos de ensayo, mientras que en la comparación entre escuelas casi no se aprecian diferencias. La estadística confirmó las diferencias por grupos (ver tabla 21).

Figura 26. Tiempos de respuesta para los ensayos de la atención de orientación en el pretest del test child ANT



RT en ms. Muestra: nCI=20, nS=19, nC=34

Tabla 21. Regresión lineal para los tiempos de respuesta de la atención de orientación en el pretest del test child ANT

	sum_sq	df	F	PR (>F)
C(group)	8,32e+06	2,0	7,22	0,00092
C(clue_type)	3,69e+04	1,0	0,06	0,80
C(group):C(clue_type)	8,28e+05	2,0	0,72	0,49
Residual	1,24e+08	216,0	NaN	NaN

Aplicamos la prueba de Kruskal-Wallis para el pretest, indicando significancia en el factor grupo para los dos tipos de ensayos en el pretest (tabla 16).

En la comparativa por grupo y escuela (ver figura 27), se observa que el grupo S tuvo un peor rendimiento en las dos escuelas. La comparación entre pares de grupos utilizando la prueba U de Mann-Whitney confirmó los resultados diferenciales del grupo S para los dos tipos de ensayos (ver tabla 22).

Figura 27. Tiempos de respuesta para los ensayos de la atención de orientación por grupo y escuela en el pretest del test child ANT

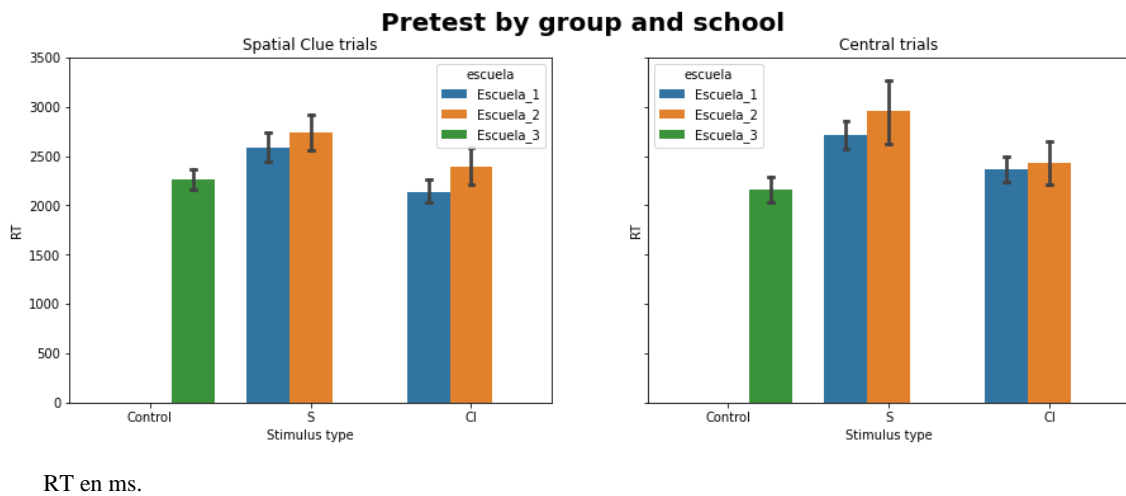
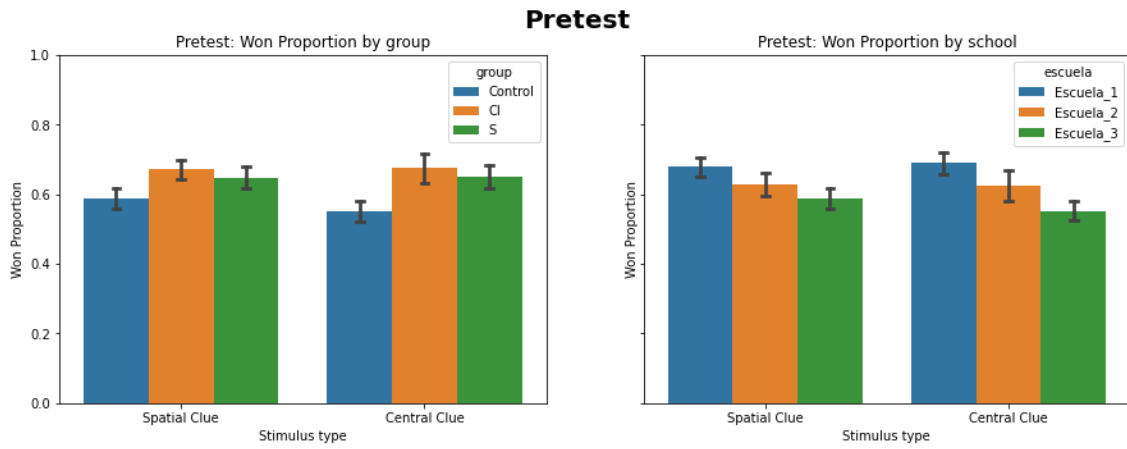


Tabla 22. Análisis de Mann-Whitney de los tiempos de respuesta de la atención de orientación por pares de grupos en el pretest del test child ANT

Grupos	U	p
Ensayo espacial		
S y C	1681,0	0,012
S y CI	990,0	0,0051
C y CI	1379,0	0,71
Ensayo central		
S y C	496,0	0,0016
S y CI	241,0	0,077
C y CI	270,0	0,13

En cuanto a la proporción de respuestas correctas, los resultados en el pretest también fueron similares en todos los grupos, tanto en ensayos espaciales como en los centrales, tal como se observa en la figura 28. Algo parecido ocurrió en la comparación entre escuelas.

Figura 28. Proporción de respuestas correctas para los ensayos de la atención de orientación en el pretest del test child ANT



Los datos estadísticos revelaron que había al menos un grupo distinto del resto (ver tabla 23), pero al comparar los grupos por pares utilizando la prueba U de Mann-Whitney no se encontraron diferencias significativas (ver tabla 24)

Tabla 23. Regresión lineal para la proporción de aciertos de la atención de orientación en el pretest del test child ANT

	sum_sq	df	F	PR (>F)
C(group)	0,41	2,0	5,00	0,0075
C(_type)	0,0136	1,0	0,33	0,57
C(group):C(stimulus_type)	0,02	2,0	0,26	0,77
Residual	8,92	216,0	NaN	NaN

Tabla 24. Análisis de Mann-Whitney de la proporción de aciertos de la atención de orientación en el pretest del test child ANT

	Group1	Group2	meandiff	p-adj
0	CI/Central clue	CI/Spatial clue	-0,0041	1,0000
1	CI/Central clue	Control/Central clue	-0,1243	0,2453
2	CI/Central clue	Control/Spatial clue	-0,0864	0,5455
3	CI/Central clue	S/Central clue	-0,0257	0,9988
4	CI/Central clue	S/Spatial clue	-0,0287	0,9959
5	CI/Spatial clue	Control/Central clue	-0,1202	0,1081
6	CI/Spatial clue	Control/Spatial clue	-0,0823	0,3161
7	CI/Spatial clue	S/Central clue	-0,0216	0,9990
8	CI/Spatial clue	S/Spatial clue	-0,0246	0,9951
9	Control/Central clue	Control/Spatial clue	0,0379	0,9426
10	Control/Central clue	S/Central clue	0,0986	0,5461
11	Control/Central clue	S/Spatial clue	0,0956	0,3478
12	Control/Spatial clue	S/Central clue	0,0607	0,8672
13	Control/Spatial clue	S/Spatial clue	0,0577	0,7324
14	S/Central clue	S/Spatial clue	-0,0030	1,0000

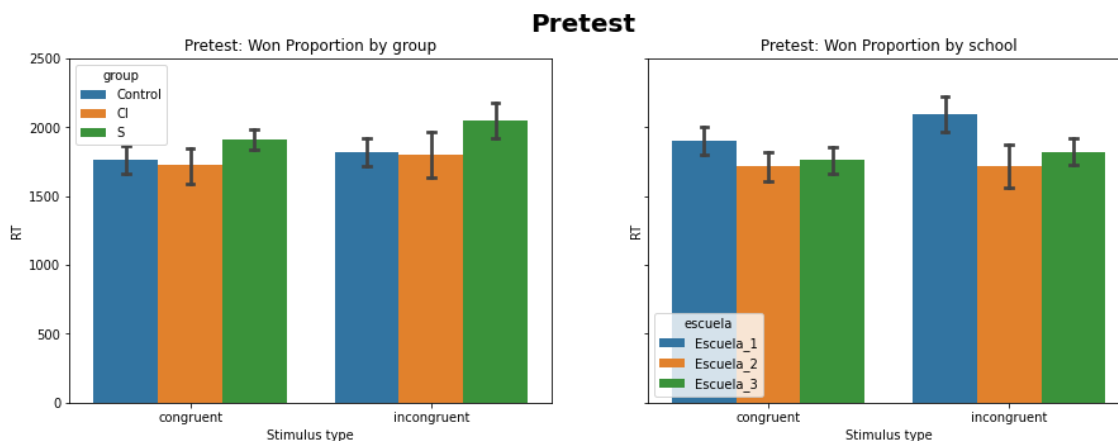
7.2 Test de Stroop corazón-flor

Tal como explicamos en el apartado 6.1.2, el test de Stroop corazón-flor es una tarea no verbal que mide aspectos del control inhibitorio y de la flexibilidad cognitiva. En los ensayos congruentes, los niños tienen que pulsar un botón que indica el lado de la pantalla en el que aparece una figura. En los ensayos incongruentes, tienen que indicar el lado opuesto. Los bloques se organizan en ensayos fijos (todos los ensayos del mismo tipo) o mixtos (los ensayos congruentes e incongruentes se entremezclan). Esta última condición hace participar más la flexibilidad cognitiva.

7.2.1 Control inhibitorio

En lo referente a los tiempos de respuesta, podríamos esperar que fueran mayores para los ensayos incongruentes. Sin embargo, tal como se observa en la figura 29, los tiempos de respuesta en el pretest fueron parecidos para los diferentes grupos y también para cada una de las tres escuelas.

Figura 29. Tiempos de respuesta para los ensayos del control inhibitorio en el pretest del test de Stroop corazón-flor



En la gráfica de la izquierda se comparan los grupos y en la de la derecha se comparan las escuelas. RT en ms. Muestra: nCI=20, nS=19, nC=36.

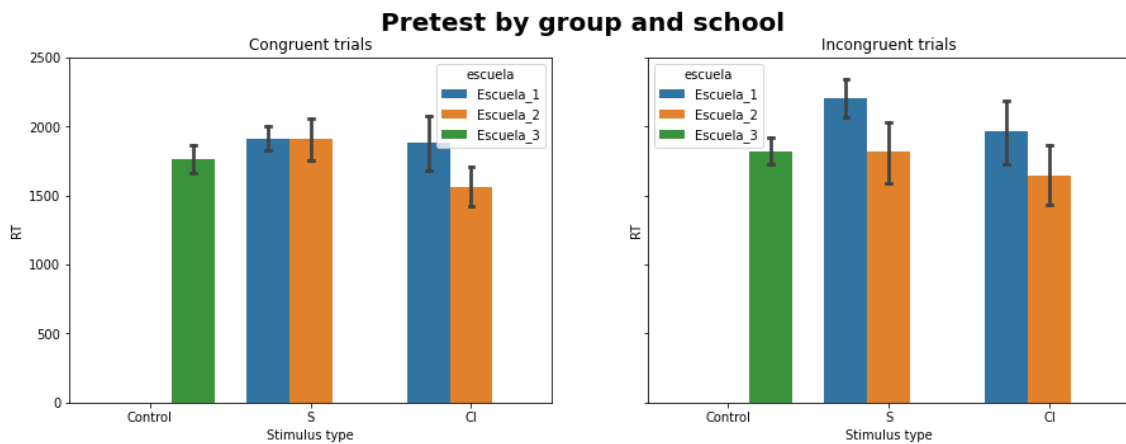
Se cumplieron los supuestos de normalidad, al igual que en el resto de medidas del test. El análisis estadístico no encontró diferencias entre los grupos ni entre los tipos de ensayos en el pretest (ver tabla 25).

Tabla 25. Regresión lineal para los tiempos de respuesta del control inhibitorio en el pretest del test de Stroop corazón-flor

	sum_sq	df	F	PR (>F)
C(group)	1,14e+06	2,0	1,61	0,20
C(stimulus_type)	2,57e+05	1,0	0,73	0,40
C(group):C(stimulus_type)	3,71e+04	2,0	0,053	0,95
Residual	5,08e+07	144,0	NaN	NaN

En la figura 30 se muestra la comparación por grupos y escuelas para los ensayos congruentes e incongruentes. Observamos tiempos de respuesta mayores para los dos grupos S, respecto a los grupos CI, en los ensayos incongruentes.

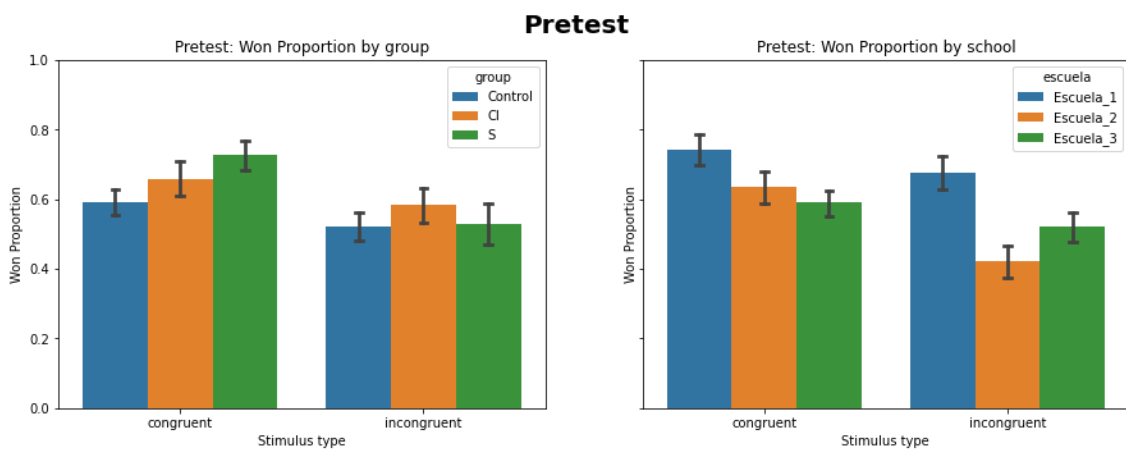
Figura 30. Tiempos de respuesta para los ensayos del control inhibitorio por grupo y escuela en el pretest del test de Stroop corazón-flor



RT en ms.

En cuanto a la proporción de aciertos, también podríamos esperar que en los ensayos congruentes fuera mayor que en los incongruentes. Observamos esto en la figura 31, tanto para los grupos experimentales, como para las escuelas.

Figura 31. Proporción de respuestas correctas para los ensayos del control inhibitorio en el pretest del test de Stroop corazón-flor



A la izquierda se comparan los resultados por grupos y a la derecha se comparan los resultados de las escuelas.

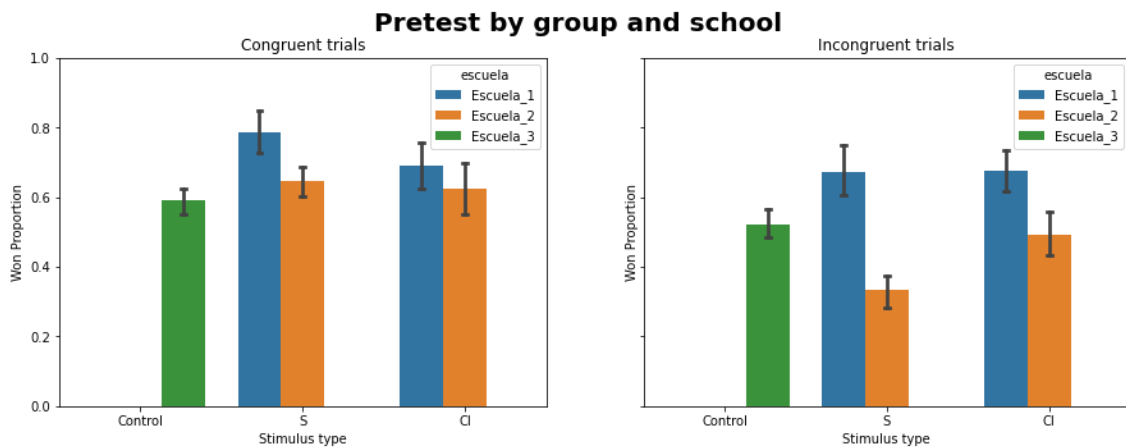
En consonancia con lo mencionado antes, el análisis estadístico para el pretest (ver tabla 26) reveló que la significancia se dio entre los estímulos (congruente vs incongruente) y no entre los grupos (control vs experimentales).

Tabla 26. Regresión lineal para la proporción de aciertos del control inhibitorio en el pretest del test de Stroop corazón-flor

	sum_sq	df	F	PR (>F)
C(group)	0,18	2,0	1,58	0,21
C(stimulus_type)	0,39	1,0	7,04	0,00886
C(group):C(stimulus_type)	0,12	2,0	1,04	0,36
Residual	8,01	144,0	NaN	NaN

En la figura 32 se muestra la representación gráfica de los ensayos acertados por tipo de estímulo (congruentes la de la izquierda e incongruentes la de la derecha) para grupos y escuelas. Observamos claramente un mejor rendimiento de los grupos experimentales de la Escuela 1 respecto a los de la Escuela 2, una diferencia que es aún más marcada en los ensayos incongruentes, que son más difíciles.

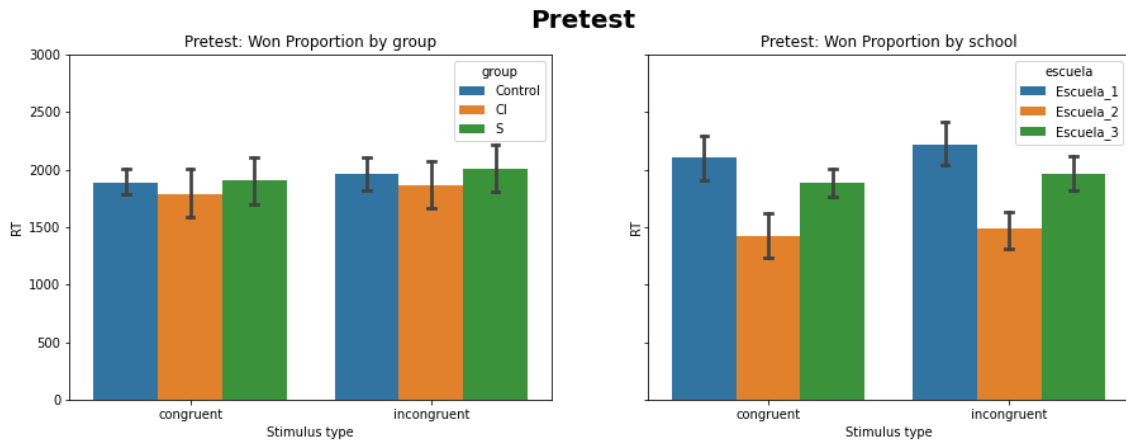
Figura 32. Proporción de respuestas correctas para los ensayos del control inhibitorio por grupo y escuela en el pretest del test de Stroop corazón-flor



7.2.2 Flexibilidad cognitiva

En lo referente a los tiempos de respuesta en el pretest, los resultados por grupos para la condición de ensayos mixtos fueron muy similares para los dos tipos de ensayos (ver figura 33), mientras que los tiempos de respuesta para la Escuela 2 fueron menores que los de las otras dos escuelas. Los datos estadísticos no mostraron ningún factor significativo (ver tabla 27).

Figura 33. Tiempos de respuesta para los ensayos de la flexibilidad cognitiva en el pretest del test de Stroop corazón-flor



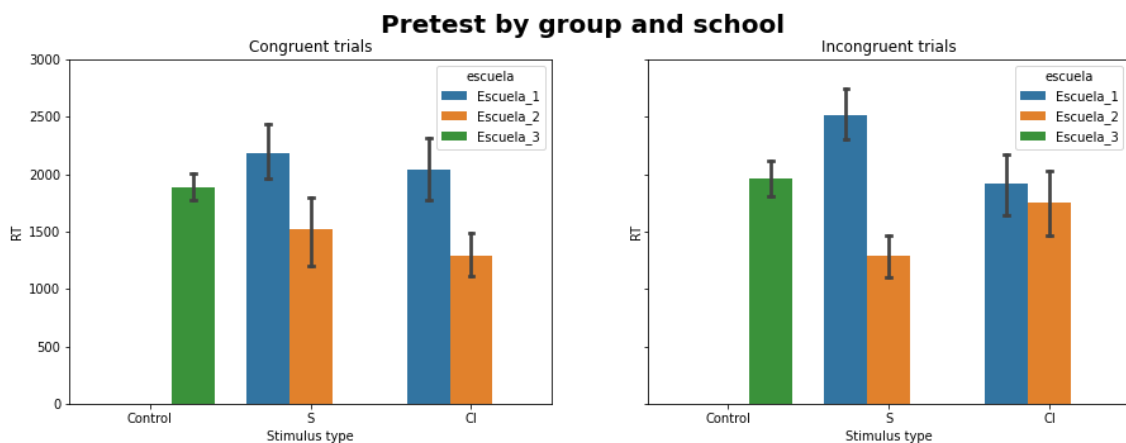
RT en ms. Muestra: nCI=13, nS=12, nC=25.

Tabla 27. Regresión lineal para los tiempos de respuesta de la flexibilidad cognitiva en el pretest del test de Stroop corazón-flor

	sum_sq	df	F	PR (>F)
C(group)	0,48	2,0	0,23	0,79
C(stimulus_type)	0,33	1,0	0,32	0,57
C(group):C(stimulus_type)	0,0082	2,0	0,00398	0,996
Residual	128,42	124,0	NaN	NaN

En la representación gráfica por grupo y escuela de la figura 34, observamos menores tiempos de respuesta en los dos tipos de ensayos para los dos grupos experimentales de la Escuela 2 con respecto a los mismos grupos de la Escuela 1.

Figura 34. Tiempos de respuesta para los ensayos de la flexibilidad cognitiva por grupo y escuela en el pretest del test de Stroop corazón-flor



En la figura 35 se muestran los gráficos de la proporción de aciertos en función del tipo de ensayos para la condición de mezcla, tanto para los grupos (izquierda), como para las escuelas (derecha). En los gráficos no se aprecian diferencias en el rendimiento de los grupos y de las escuelas. El análisis estadístico arrojó diferencias por tipos de ensayos (ver tabla 28).

Figura 35. Proporción de respuestas correctas para los ensayos de la flexibilidad cognitiva en el pretest del test de Stroop corazón-flor

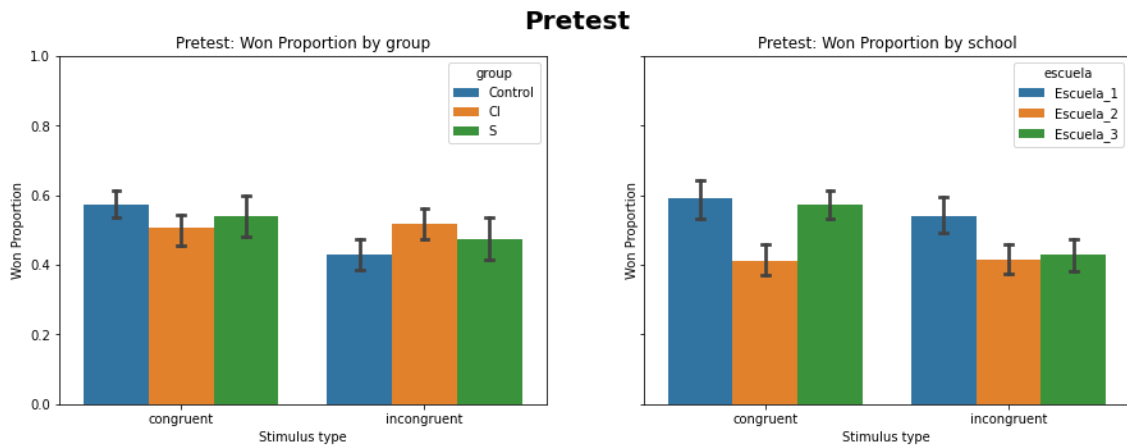
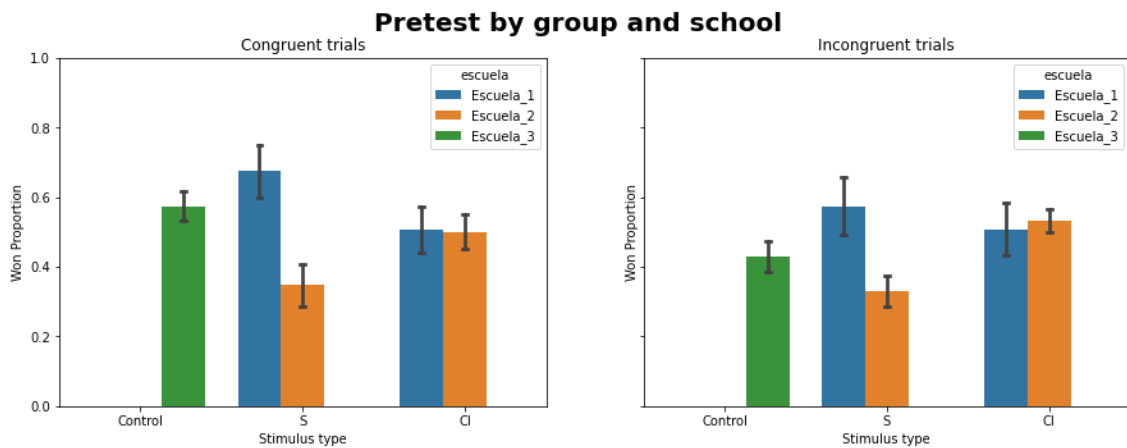


Tabla 28. Regresión lineal para la proporción de aciertos de la flexibilidad cognitiva en el pretest del test de Stroop corazón-flor

	sum_sq	df	F	PR (>F)
C(group)	0,03	2,0	0,02	0,98
C(stimulus_type)	3,85	1,0	4,45	0,0369
C(group):C(stimulus_type)	1,99	2,0	1,15	0,32
Residual	107,12	124,0	NaN	NaN

En la comparativa por grupos y escuelas para el pretest (ver figura 36), observamos un mejor rendimiento del grupo S de la Escuela 1 que el grupo S de la Escuela 2 en los dos tipos de ensayos. Eso no ocurre cuando comparamos los grupos CI de las dos escuelas.

Figura 36. Proporción de respuestas correctas para los ensayos de la flexibilidad cognitiva por grupo y escuela en el pretest del test de Stroop corazón-flor

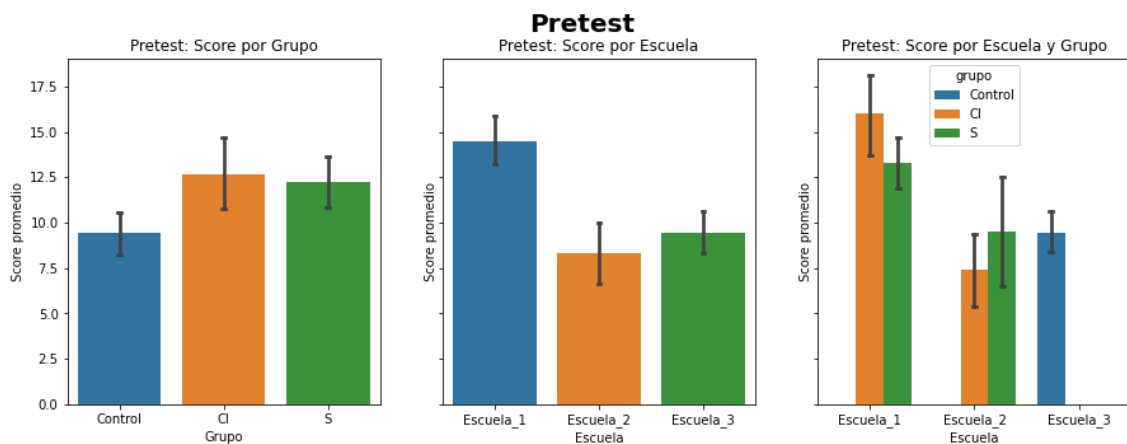


7.3 Test de Corsi

Tal como se explicó en el apartado 6.2.3, el test de Corsi es una tarea que se utiliza para evaluar la memoria de trabajo visuoespacial. En el proceso de evaluación de los resultados priorizamos la puntuación (*score*), que pondera la cantidad de respuestas correctas según la secuencia a ser recordada o amplitud (*span*).

En la figura 37 se muestran las gráficas correspondientes al pretest del *score* en función del grupo, las escuelas y de los grupos por escuela (de izquierda a derecha). El *score* se obtiene sumando un punto por cada estímulo (bombilla o estrella en el test) recordado. Así, realizar un ensayo correcto en el nivel 1 suma un punto, mientras que acertar uno en el nivel 4 suma cuatro puntos. Los datos suministrados por el *score* detectan, en parte, la complejidad de los resultados. En nuestro ejemplo anterior, el nivel 4 es mucho más difícil que el nivel 1. En la figura 37 observamos un mejor rendimiento en los grupos experimentales (S y CI) con respecto al grupo de control, aunque luego veremos que no fue significativo.

Figura 37. Puntuación por grupo, escuela y grupo-escuela en el pretest del test de Corsi



Muestra: nCI=13, nS=16, nC=32

Conviene remarcar las diferencias de la Escuela 1 respecto a las otras dos. Hicimos una prueba ANOVA de una vía para los grupos y las escuelas que reveló significancia en el factor escuela (ver tabla 29).

Tabla 29. Regresión lineal para el *score* en el pretest del test de Corsi

	sum_sq	df	F	PR (>F)
C(group)	149,94	2,0	1,88	0,17
Residual	1717,30	43,0	NaN	NaN
C(school)	336,06	2,0	4,72	0,014
Residual	1531,18	43,0	NaN	NaN

Comparamos entre pares las escuelas con la prueba t de Student, confirmando el análisis de los datos que los resultados de la Escuela 1 fueron significativamente mejores que los de las otras dos escuelas (ver tabla 30). Esto no parece afectar a las diferencias entre grupos experimentales en el pretest.

Tabla 30. Comparación entre pares de escuelas del *score* en el pretest del test de Corsi

Comparación entre escuelas	T	p
E1 y E2	2,77	0,013
E1 y E3	2,85	0,0070
E3 y E2	15,54	0,60

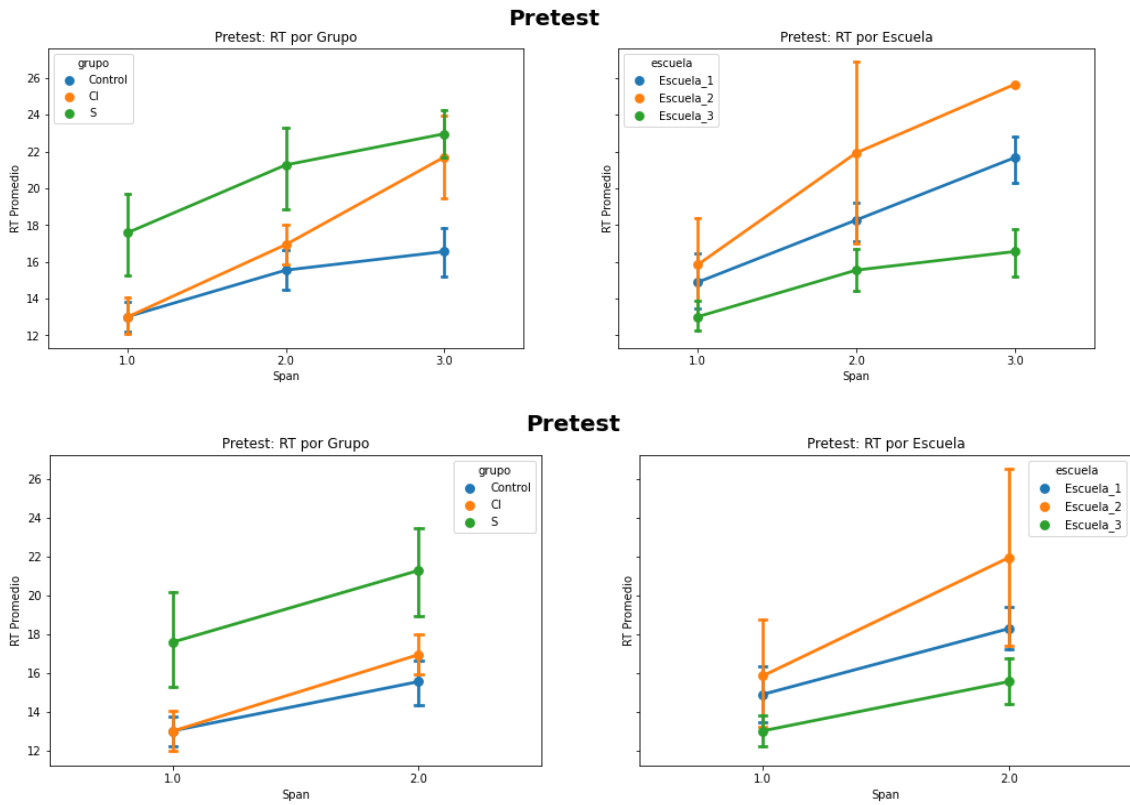
Respecto al análisis de los tiempos de respuesta, en la tabla 31 se muestra el número de estudiantes por *span* (cantidad de ítems a ser recordados) alcanzado. El puntaje de corte considerado es hasta que llegue el 20 % de los participantes, que resultó en 3 estímulos (estrellas en el test).

Tabla 31. Puntaje alcanzado por los participantes en el pretest del test de Corsi.

Grupo	Pretest			Postest		
	1.0	2.0	3.0	1.0	2.0	3.0
C	29	19	8	28	20	12
CI	13	11	3	11	11	3
S	12	11	3	12	10	5

En la figura 38 se muestran los gráficos del pretest de los tiempos de respuesta promedio de los ensayos en función del *span* (3 estrellas en los gráficos de arriba y 2 estrellas en los gráficos de abajo), tanto por grupos como por escuelas. Notamos que el grupo S tuvo un peor rendimiento que el resto.

Figura 38. Tiempos de respuesta en función del *span* en el pretest del test de Corsi



RT en s. Muestra: nCI=13, nS=14, nC=33

Pasamos la prueba de Kruskal-Wallis para los grupos y para las escuelas. Los datos confirmaron que al menos un grupo era diferente y también que había diferencias entre escuelas (tabla 32).

Tabla 32. Análisis de Kruskal-Wallis para los tiempos de respuesta de los grupos y escuelas en el pretest del test de Corsi

	U	p
TR Grupos 3 estrellas	9,97	0,0068
TR Escuelas 3 estrellas	8,12	0,017
TR Grupos 2 estrellas	7,41	0,025
TR Escuelas 2 estrellas	6,41	0,041

Comparamos por pares los grupos y escuelas de 3 estrellas utilizando la prueba U de Mann-Whitney (ver tabla 33) encontrando valores significativos en la comparación entre el grupo S y el CI y entre el grupo S y el grupo de control. También entre la Escuela 1 y la Escuela 3. Sintetizando, el grupo S tuvo tiempos de respuesta significativamente peores que el grupo CI y el grupo de control en el pretest.

Tabla 33. Análisis de Mann-Whitney de los tiempos de respuesta por pares de grupos y escuelas en el pretest del test de Corsi

Comparación entre grupos		
	U	p
S y CI	473,0	0,031
C y CI	624,0	0,20
C y S	1066,0	0,00077
Comparación entre escuelas		
E1 y E2	276,0	0,96
E1 y E3	1442,0	0,0082
E3 y E2	512,0	0,079

7.4 Test TONI-4

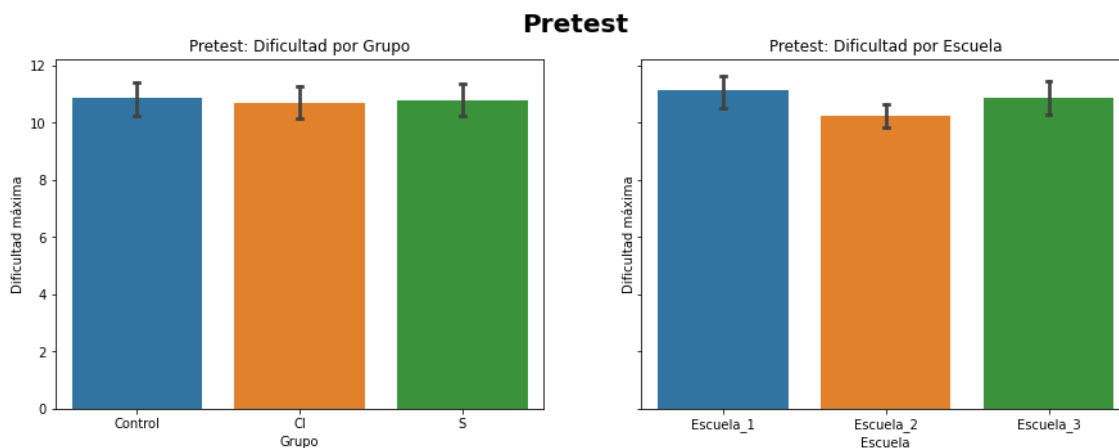
Tal como se explicó en el apartado 6.2.4, el test TONI-4 es una tarea de inteligencia no verbal que se centra en la resolución de problemas. En nuestro caso particular, son conjuntos de figuras que los participantes tienen que rellenar fijándose en las reglas que siguen.

Nos centraremos en el nivel máximo alcanzado, ya que la consigna dada a los participantes fue responder lo mejor que pudieran sin tener en cuenta el tiempo. No obstante, mencionaremos los tiempos de respuesta, por si nos pudieran suministrar alguna información relevante sobre los grupos o las escuelas.

En la figura 39 se muestran los niveles máximos alcanzados (dificultad máxima en las tablas) en el pretest para los grupos experimentales y de control (gráfico de la izquierda) y las tres escuelas

(gráfico de la derecha) en el test TONI-4. El puntaje de corte se puso en 10 que es hasta donde llegó el 20 % de los participantes. Vemos en los gráficos que los resultados fueron similares entre grupos y entre escuelas, con resultados algo peores para la Escuela 2 respecto de las otras.

Figura 39. Nivel máximo alcanzado por grupo y escuela en el pretest del test TONI-4



Muestra: nCI=20, nS=20, nC=35

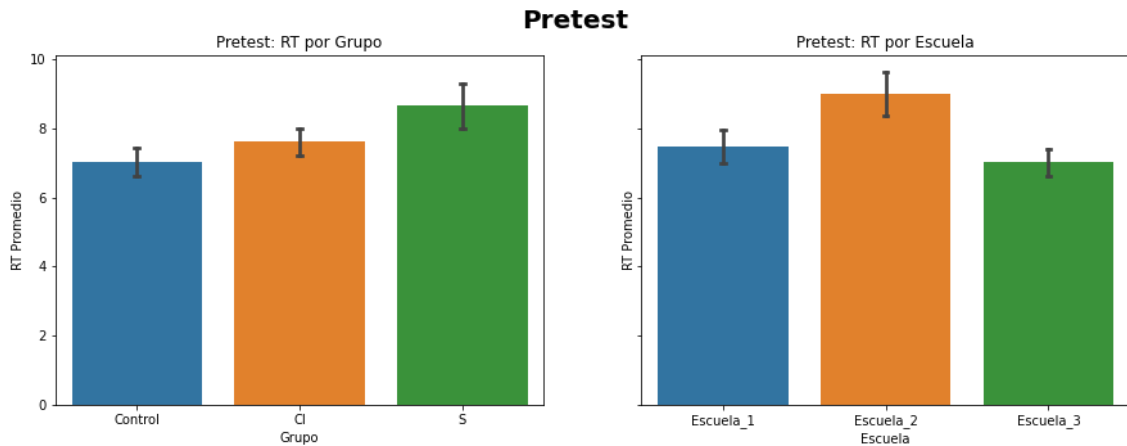
Sin embargo, hicimos la prueba de Kruskal-Wallis para comparar entre los grupos y también para las escuelas. El análisis estadístico reveló que no hubo diferencias significativas entre los grupos experimentales en el pretest y tampoco entre las escuelas (ver tabla 34).

Tabla 34. Análisis de Kruskal-Wallis para el nivel máximo alcanzado y los tiempos de respuesta en el pretest del test TONI-4

	U	p
Nivel máx. Grupos	0,37	0,83
Nivel máx. Escuelas	0,40	0,82
RT Grupos	0,23	0,89
RT Escuelas	10,20	0,0061

En lo referente a los tiempos de respuesta promedio para cada uno de los ensayos, en la figura 40 se muestran los resultados para los tres grupos (gráfica de la izquierda) y para las tres escuelas (gráfica de la derecha). Observamos mayores tiempos de respuesta para el grupo S y para la Escuela 2.

Figura 40. Tiempos de respuesta por grupo y escuela en el pretest del test TONI-4



Muestra: nCI=20, nS=19, nC=35

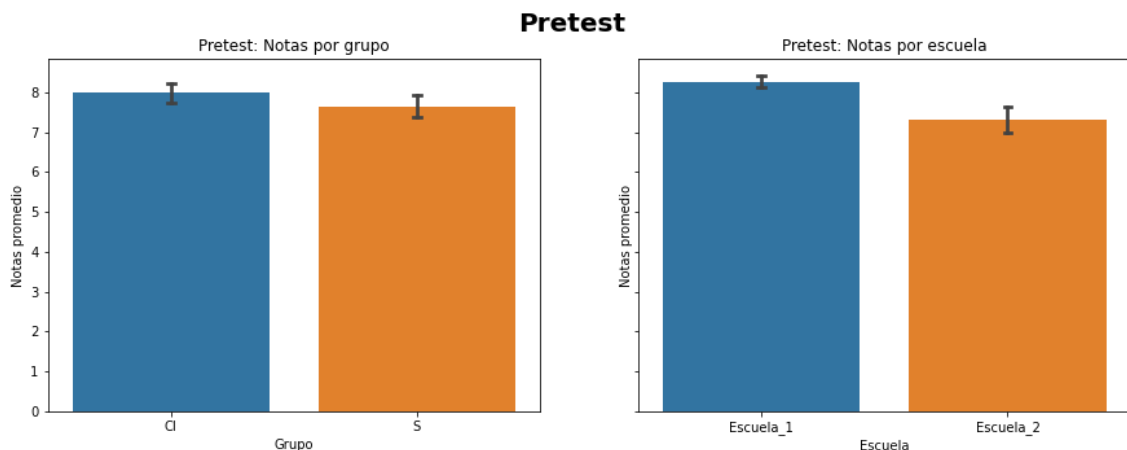
No se cumplieron los supuestos de normalidad e hicimos la prueba de Kruskal-Wallis para comparar entre grupos ($U=0,23$ y $p=0,89$) y otra para comparar entre escuelas ($U=10,20$ y $p=0,0061$). La prueba confirmó que al menos un grupo era distinto al resto. Utilizando la prueba U de Mann-Whitney para comparar por pares de grupos y por pares de escuelas, la única diferencia significativa que encontramos fue entre la Escuela 2 y la Escuela 3 ($U=4776,50$ y $p=0,0012$).

7.5 Informes de las maestras

En los gráficos de la figura 41 se comparan las calificaciones en el pretest por grupo (solo los experimentales; gráfico de la izquierda) y por escuela (la Escuela 1 y la Escuela 2; gráfico de la derecha). Recordamos que la Escuela 3 no suministró informes de evaluación.

Apreciamos unos mejores resultados, en promedio, de la Escuela 1 respecto a los de la Escuela 2. Los resultados de los dos grupos experimentales (CI y S) fueron similares.

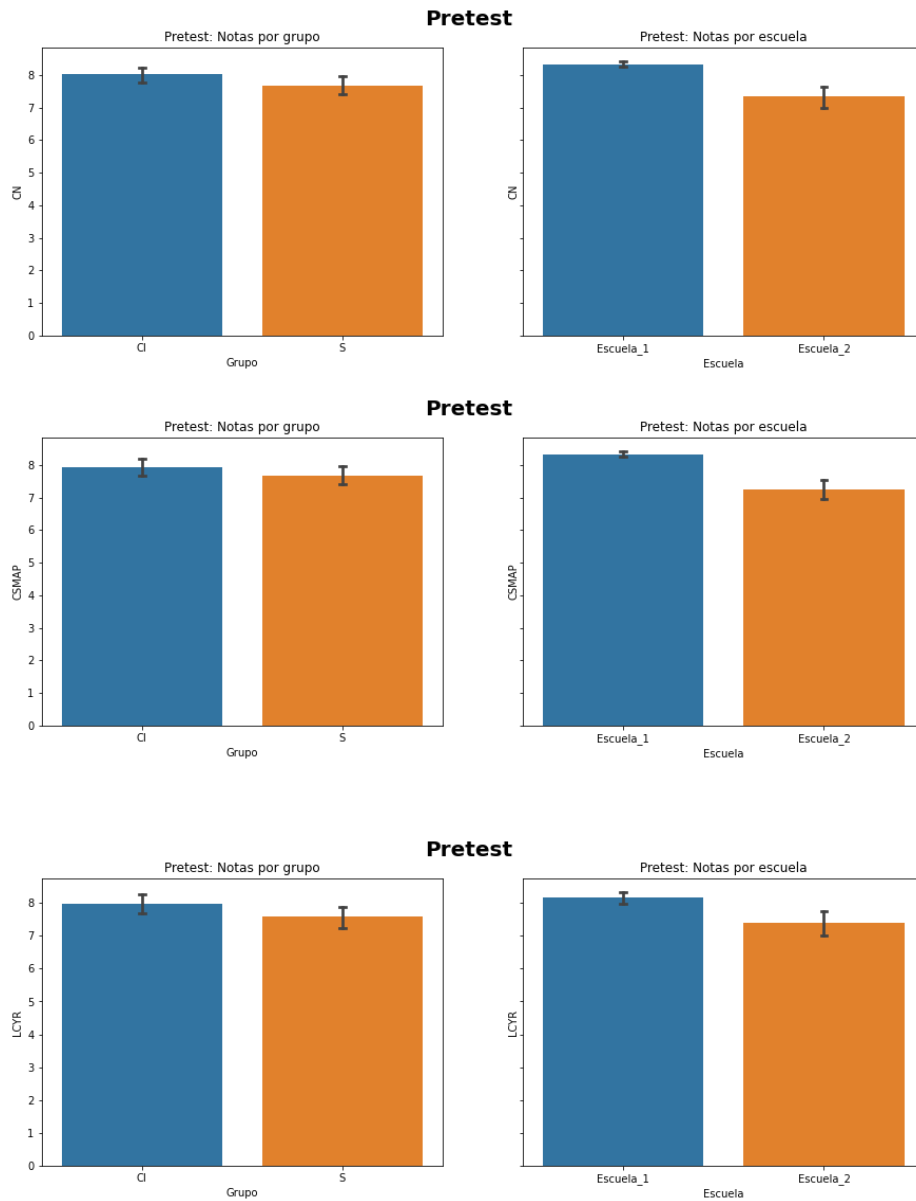
Figura 41. Notas promedio por grupo y escuela en el pretest



Muestra: nCI=22, nS=22

Si comparamos los resultados para las tres áreas evaluadas, vemos que la tendencia general comentada antes se conserva. Los resultados por grupos son similares, mientras que los resultados de la Escuela 1 fueron mejores en las tres áreas (ver figura 42).

Figura 42. Notas promedio de las áreas de conocimiento por grupo y escuela en el pretest



CN: el conocimiento del entorno; CSMAP: conocimiento de sí mismo y autonomía personal; LCYR: lenguajes, comunicación y representación; ver apartado 6.3.1

Hicimos la prueba U de Mann-Whitney para comparar entre los grupos y entre las escuelas en el pretest. El análisis estadístico de los datos confirmó una diferencia significativa de los resultados entre las escuelas en el pretest (ver tabla 35).

Tabla 35. Análisis de Mann-Whitney de las notas por grupos y escuelas en el pretest

	U	p
Notas por grupos PRE	197,5	0,25
Notas por escuelas PRE	148,0	0,015

La comparación de los resultados en el pretest para los diferentes grupos y escuelas nos ha suministrado información relevante. Hemos identificado tendencias interesantes. Por ejemplo, diferencias entre las escuelas para los distintos test utilizados, en concreto, mejores resultados generales de la Escuela 1 frente a la Escuela 2. En el capítulo 8 compararemos estos resultados con los obtenidos en el postest y en el capítulo 9 analizaremos las implicaciones correspondientes, tanto a nivel educativo, como de investigación. Todas ellas muy importantes.

IDEAS CLAVE

- Test child-ANT: en las medidas de atención ejecutiva la proporción de aciertos en la Escuela 1 fue mayor que en las otras dos escuelas en los ensayos congruentes.
- Test de Stroop corazón-flor: se dio un mejor rendimiento en control inhibitorio de los grupos experimentales de la Escuela 1 respecto a los de la Escuela 2, especialmente en los ensayos incongruentes.
- Test de Corsi: los resultados en *score* de la Escuela 1 fueron significativamente mejores que los de las otras dos escuelas. Respecto a los tiempos de respuesta, el grupo S tuvo un rendimiento significativamente peor que el resto.
- Test TONI-4: mayores tiempos de respuesta para el grupo S y para la Escuela 2.
- Informes de evaluación: los resultados de la Escuela 1 fueron significativamente mejores que los de la Escuela 2.

CAPÍTULO 8.

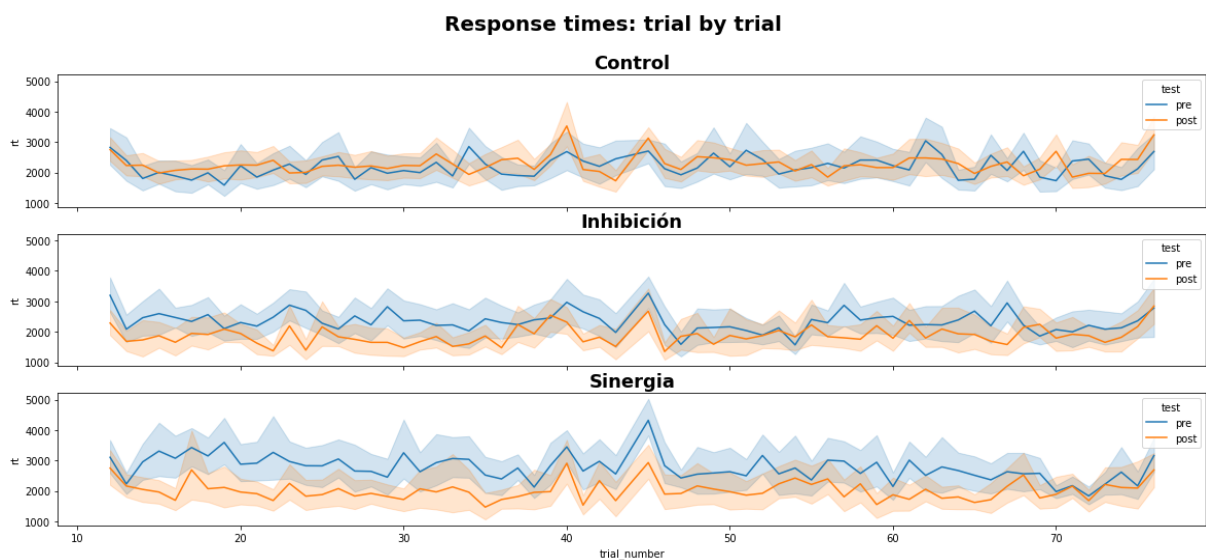
Efectos de la intervención

Capítulo 8. Efectos de la intervención

8.1 Test child ANT

En la figura 43 se muestran los tiempos de respuesta (en ms) de los integrantes de cada uno de los grupos (de control y experimentales) para cada uno de los ensayos, en promedio. La línea azulada corresponde al pretest y la anaranjada al postest, mientras que el área sombreada representa los errores estándar de las medidas. Observamos una reducción de los tiempos de respuesta en la fase de postest para los dos grupos experimentales (ver tabla 36). En la tabla 37 se muestra el porcentaje de respuestas correctas de los tres grupos para todos los tipos de ensayos en el pretest y postest.

Figura 43. Tiempo de respuesta para los tres grupos en el pretest y postest del test child ANT



El número de ensayos en el eje x y el tiempo de respuesta en el eje y (en ms).

Tabla 36. Tiempos de respuesta de los tres grupos para todos los tipos de ensayos en el pretest y postest del test child ANT

TR	PRETEST			POSTEST		
	C	CI	S	C	CI	S
Central clue	2159,09±96,59	2397,08±68,14	2789,13±71,43	2316,05±82,19	1920,78±57,02	2165,07±84,28
Spatial clue	2264,65±99,76	2229,68±81,96	2617,88±80,66	2310,04±95,44	1767,01±63,13	1968,96±79,98
No clue	2326,99±80,74	2325,09±67,71	2847,48±72,43	2472,33±63,09	2068,43±100,52	2191,88±85,79
Double clue	2306,29±89,39	2223,68±58,76	2735,62±73,60	2333,28±83,12	1886,44±55,47	2226,25±66,66
Congruent	2186,84±67,83	2254,17±71,35	2633,36±45,30	2275,11±64,89	1756,36±45,19	1909,54±47,35
Incongruent	2329,96±73,31	2564,47±78,43	2826,73±57,88	2463,94±69,67	2050,31±50,47	2236,49±60,16

Todos los tiempos de respuesta en ms.

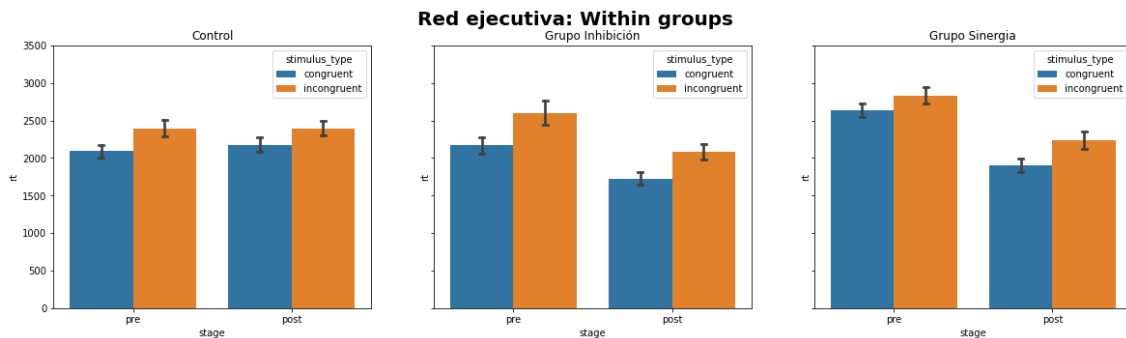
Tabla 37. Porcentaje de respuestas correctas de los tres grupos para todos los tipos de ensayos en el pretest y postest del test child ANT

RC	PRETEST			POSTEST		
	C	CI	S	C	CI	S
Spatial clue	58,86±2,87	67,09±2,09	60,08±2,82	74,60±2,85	84,27±2,29	73,82±2,75
Central clue	55,07±1,93	67,50±2,31	60,31±2,32	73,44±2,36	76,22±2,97	76,91±2,67
No clue	55,24±2,21	65,94±1,94	58,36±2,42	72,07±2,56	72,51±2,95	76,87±2,17
Double clue	55,58±1,86	67,81±2,11	60,50±2,06	74,61±2,37	76,29±1,93	77,15±2,16
Congruent	67,27±2,68	75,15±2,36	65,75±2,61	82,20±1,81	86,10±2,24	80,96±2,17
Incongruent	44,68±1,95	54,36±2,65	55,71±2,19	65,34±2,92	65,07±3,00	73,23±2,22

8.1.1 Atención ejecutiva

El análisis estadístico mediante la prueba de Wilcoxon mostró diferencias en el nivel y en el tipo de ensayo para los dos grupos experimentales, es decir, disminuyeron de forma significativa los tiempos de respuesta en el postest respecto al pretest, tanto en los ensayos congruentes como en los ensayos incongruentes, a diferencia del grupo de control (ver figura 44 y tabla 38). Si se comparan los tiempos de respuesta entre los dos grupos experimentales, parecería que el grupo S mejora respecto al grupo CI, especialmente en los ensayos congruentes.

Figura 44. Tiempos de respuesta para los ensayos de la atención ejecutiva en el pretest y postest del test child ANT



RT en ms.

Tabla 38. Regresión lineal para los tiempos de respuesta de la atención ejecutiva de cada grupo en el postest del test child ANT

CONTROL	sum_sq	df	F	PR (>F)
C(level)	4,99e+04	1,0	0,17	0,68
C(stimulus_type)	1,97e+06	1,0	6,58	0,012
C(level):C(stimulus_type)	5,10e+04	1,0	0,17	0,68
Residual	3,35e+07	112,0	NaN	NaN
GRUPO CI				
C(level)	4,17e+06	1,0	15,63	0,00019
C(stimulus_type)	2,80e+06	1,0	10,48	0,0019
C(level):C(stimulus_type)	3,10e+04	1,0	0,12	0,73
Residual	1,82e+07	68,0	NaN	NaN

GRUPO S				
C(level)	8,20e+06	1,0	38,32	3,30e-08
C(stimulus_type)	1,29e+06	1,0	6,01	1,67e-02
C(level):C(stimulus_type)	8,48e+04	1,0	0,40	5,31e-01
Residual	1,54e+07	72,0	NaN	NaN

Respecto del porcentaje de respuestas correctas, los gráficos de la figura 45 sugieren una mejora generalizada en todos los grupos, salvo en los ensayos incongruentes del grupo CI de la Escuela 2. La comparación entre grupos mediante la prueba de Wilcoxon lo confirma, identificando una mejora en el posttest del grupo S y también del grupo de control (ver tabla 39).

Figura 45. Proporción de respuestas correctas por escuelas para los ensayos de la atención ejecutiva en el pretest y posttest del test child ANT

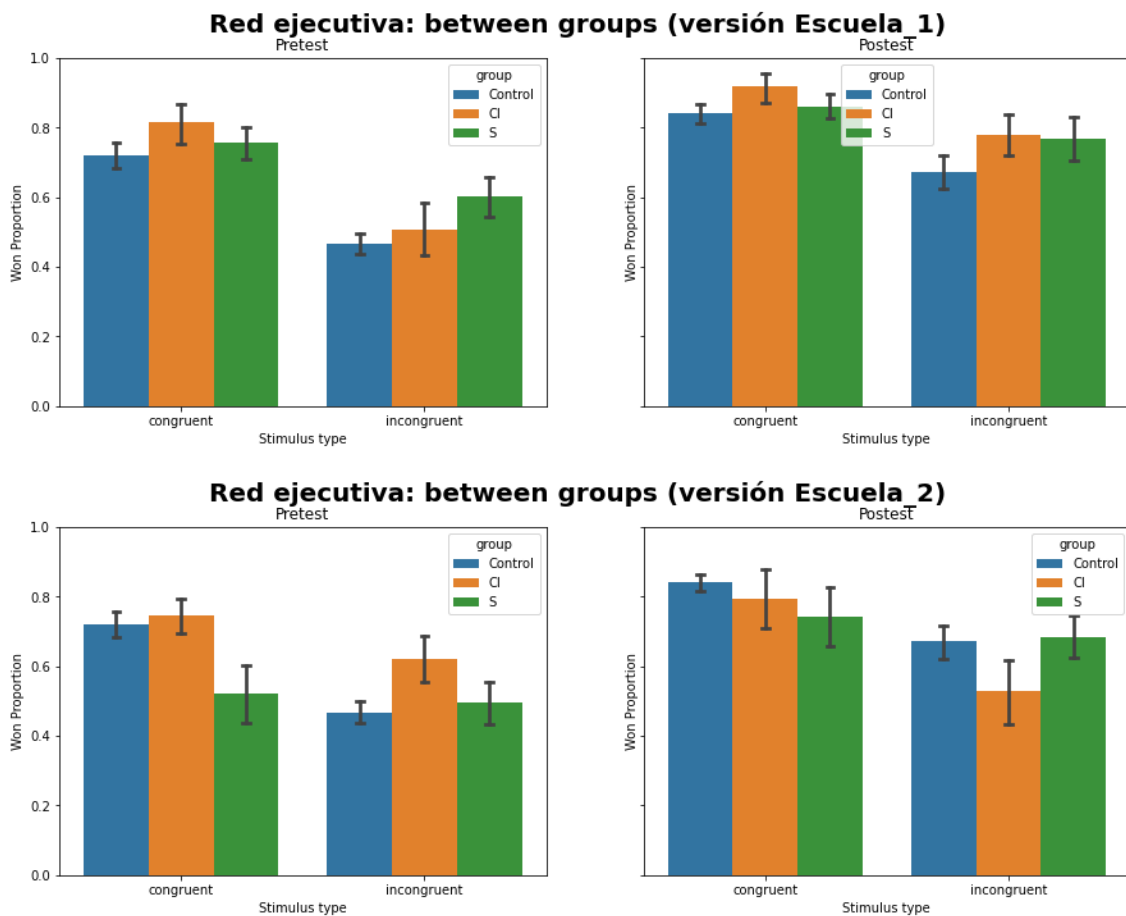


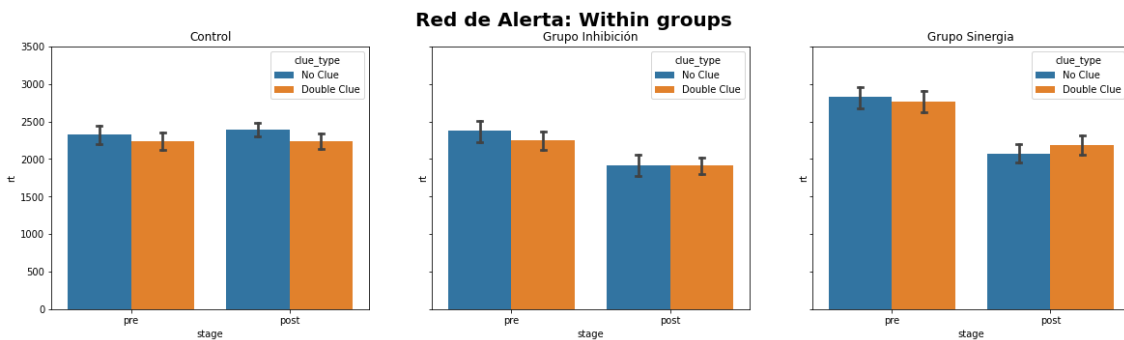
Tabla 39. Análisis de Wilcoxon por grupo de la proporción de respuestas correctas en los ensayos de las tres redes atencionales en el test child ANT

	Control		Grupo CI		Grupo S	
	U	p	U	p	U	p
RC Congruente E2	61,5	0,0022	26,0	0,0077	33,0	0,011
RC Incongruente E2	60,0	0,0019	40,5	0,15	16,0	0,0042
RC Double Clue E2	48,0	0,00041	10,0	0,50	0,0	0,012
RC No Clue E2	45,0	0,00089	5,0	0,13	3,0	0,036
RC Spatial Clue	284,0	0,00023	45,0	6,93e-05	169,0	0,076
RC Central Clue	26,5	9,03e-05	26,5	0,10	16,0	0,0071

8.1.2 Atención de alerta

Cuando comparamos los resultados del postest con los del pretest vimos que, a diferencia del grupo de control, los dos grupos experimentales mejoraron los tiempos de respuesta (ver figura 46), tanto en los ensayos sin señal como en los ensayos con doble señal (ver tabla 41).

Figura 46. Tiempos de respuesta para los ensayos de la atención de alerta en el pretest y postest del test child ANT



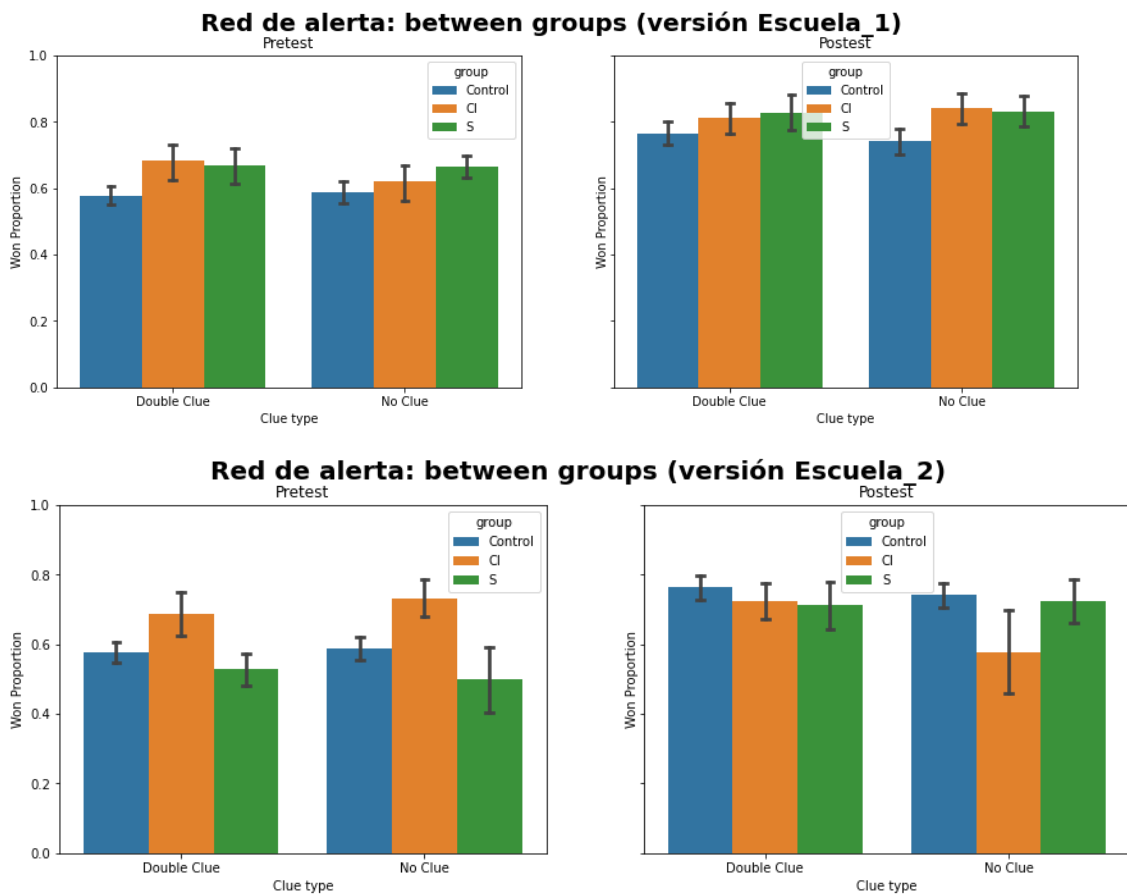
RT en ms.

Tabla 40. Regresión lineal para los tiempos de respuesta de la atención de alerta de cada grupo en el posttest del test child ANT

CONTROL	sum_sq	df	F	PR (>F)
C(level)	2,29e+04	1,0	0,062	0,80
C(clue_type)	4,03e+05	1,0	1,09	0,30
C(level):C(clue_type)	4,40e+04	1,0	0,12	0,73
Residual	4,15e+07	112,0	NaN	NaN
GRUPO CI				
C(level)	2,80e+06	1,0	9,27	0,0033
C(clue_type)	7,42e+04	1,0	0,25	0,62
C(level):C(clue_type)	6,85e+04	1,0	0,23	0,64
Residual	2,06e+07	68,0	NaN	NaN
GRUPO S				
C(level)	8,49e+06	1,0	23,51	0,000007
C(clue_type)	1,21e+04	1,0	0,034	0,86
C(level):C(clue_type)	1,23e+05	1,0	0,34	0,56
Residual	2,60e+07	72,0	NaN	NaN

En cuanto a la proporción de aciertos, se da una tendencia parecida a la comentada en la atención ejecutiva, con mayores mejoras en el grupo S y en grupo de control que en el grupo CI (ver figura 37 y tabla 39).

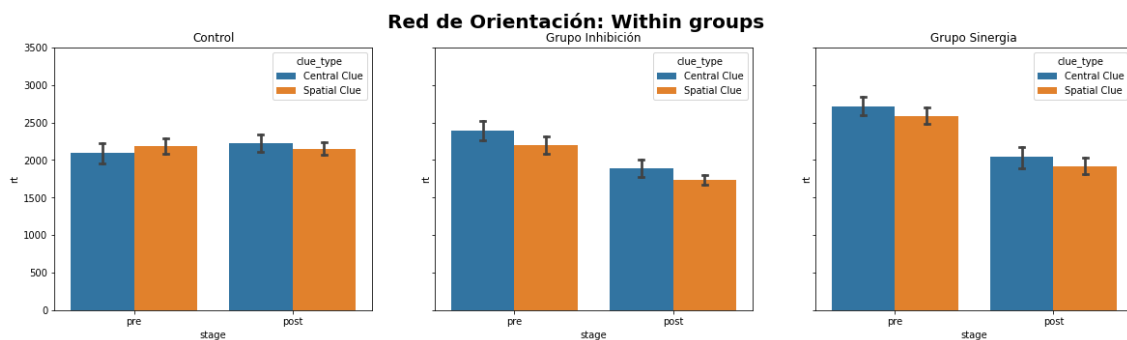
Figura 47. Proporción de respuestas correctas por escuelas para los ensayos de la atención de alerta en el pretest y postest del test child ANT



8.1.3 Atención de orientación

Respecto a la atención de orientación, identificamos una mejora de los dos grupos experimentales, a diferencia del grupo de control (ver figura 48). Esta mejora se dio en los dos tipos de ensayos, tal como mostró la prueba de Wilcoxon aplicada a los ensayos centrales y espaciales de cada grupo entre las dos fases de la intervención (tabla 42).

Figura 48. Tiempos de respuesta para los ensayos de la atención de orientación en el pretest y postest del test child ANT



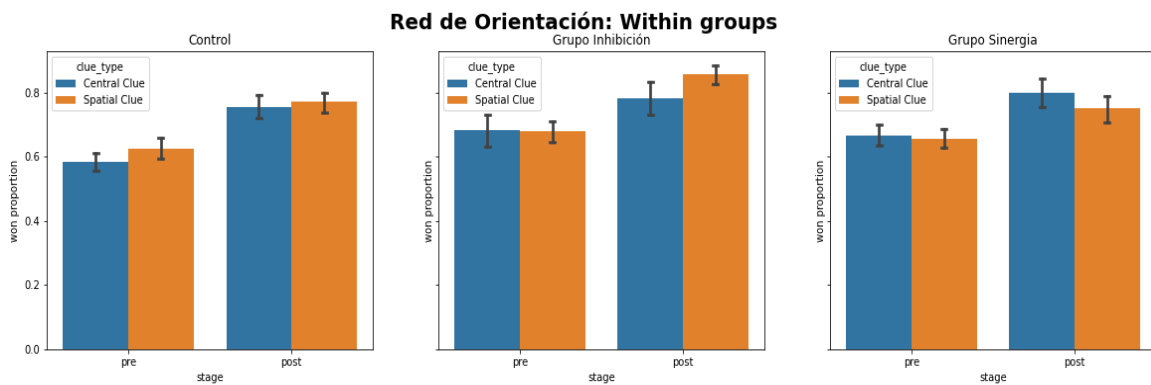
RT en ms.

Tabla 41. Análisis de Wilcoxon de los tiempos de respuesta de los ensayos de la atención de orientación para cada grupo en el test child ANT

	Control		Grupo CI		Grupo S	
	U	p	U	p	U	p
Spatial clue	842,0	0,92	85,0	0,00028	104,0	0,00094
Central clue	199,0	0,69	19,0	0,0046	15,0	0,0021

Respecto a la proporción de respuestas correctas (ver figura 49) parece que hay una mejora general. Sin embargo, el análisis estadístico mediante la prueba de Wilcoxon (ver tabla 39) reveló que la mejora de los grupos experimentales se daba en ensayos distintos, mientras que el grupo de control mejoraba en ambos.

Figura 49. Proporción de respuestas correctas por grupos para los ensayos de la atención de orientación en el pretest y posttest del test child ANT



8.2 Test de Stroop corazón-flor

Antes de explicar por separado los resultados correspondientes al control inhibitorio y la flexibilidad cognitiva del test, compartimos los resultados globales (*overall*) de la prueba en las dos variables medidas: los tiempos de respuesta (ver tabla 43) y la proporción de aciertos (en porcentajes; ver tabla 44). En cada una de las tablas aparecen los resultados de los distintos tipos de ensayos para los tres grupos en las dos fases de la intervención.

Tabla 42. Tiempos de respuesta de los tres grupos para todos los tipos de ensayos en el pretest y postest del test de Stroop corazón-flor

TR	PRETEST			POSTEST		
	C	CI	S	C	CI	S
Fix congruent	1770,84±75,63	1722,85±66,54	1920,06±38,88	1631,03±63,39	1516,21±63,22	1423,48±66,90
Fix incongruent	1845,86±66,90	1804,29±84,79	2037,23±65,28	1827,46±64,72	2031,09±74,90	2178,31±56,95
Mix congruent	1984,85±84,07	1712,37±107,85	1875,12±128,07	2144,51±95,24	2139,15±96,45	2223,68±82,13
Mix incongruent	1825,32±123,98	1852,93±118,25	2137,39±130,39	2136,87±96,83	2130,94±85,47	1977,44±72,91

TR en ms. Ensayos fijos congruentes, fijos incongruentes, mezclados congruentes y mezclados incongruentes.

Tabla 43. Proporción de respuestas correctas de los tres grupos para todos los tipos de ensayos en el pretest y postest del test de Stroop corazón-flor

RC	PRETEST			POSTEST		
	C	CI	S	C	CI	S
Fix congruent	57,83±2,61	65,83±2,68	74,51±2,24	78,43±1,83	80,00±2,03	84,80±1,67
Fix incongruent	54,29±2,86	58,33±2,65	53,43±3,31	64,90±3,20	70,00±2,76	71,57±2,50
Mix congruent	59,87±3,75	50,64±2,82	59,85±3,69	52,73±3,83	62,69±4,39	67,36±3,91
Mix incongruent	48,19±3,84	49,36±2,61	49,73±3,03	62,82±3,38	66,67±3,54	54,86±3,50

8.2.1 Control inhibitorio

En la figura 50 vemos la representación gráfica de los tiempos de respuesta de los tres grupos para el pretest y el postest. El análisis estadístico confirmó que los grupos experimentales mostraron diferencias entre los ensayos congruentes e incongruentes. En concreto, el grupo S mostró mejoras significativas en los ensayos congruentes (ver tabla 44).

Figura 50. Tiempos de respuesta para los ensayos del control inhibitorio en el pretest y postest del test de Stroop corazón-flor

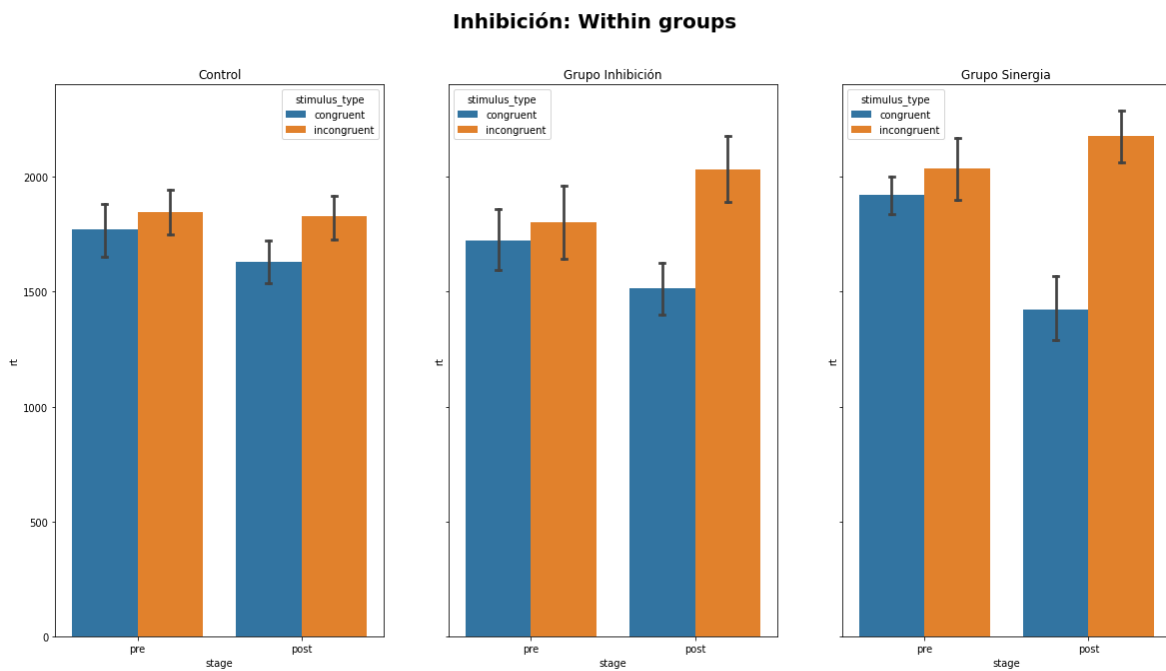


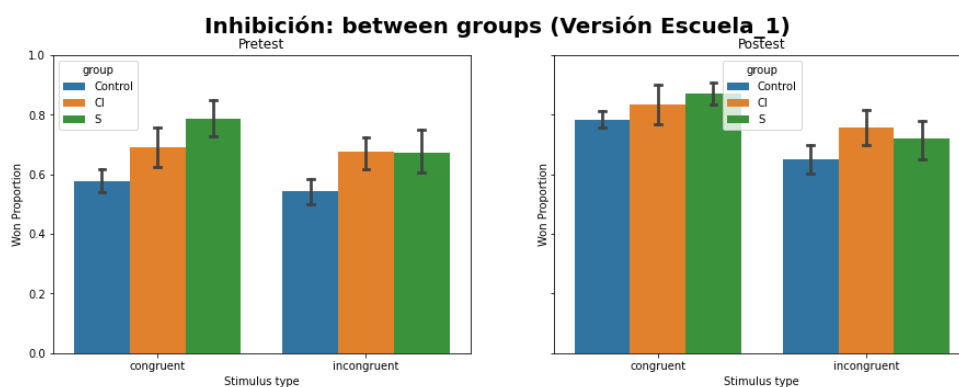
Tabla 44. Regresión lineal para los tiempos de respuesta del control inhibitorio de cada grupo en el postest del test de Stroop corazón-flor

CONTROL	sum_sq	df	F	PR (>F)
C(level)	2,07e+05	1,0	0,60	0,44
C(stimulus_type)	6,08e+05	1,0	1,76	0,19
C(level):C(stimulus_type)	1,22e+05	1,0	0,35	0,55
Residual	4,42e+07	128,0	NaN	NaN

GRUPO CI				
C(group)	2,03e+03	1,0	0,0051	0,94
C(stimulus_type)	1,78e+06	1,0	4,47	0,037
C(group):C(stimulus_type)	9,39e+05	1,0	2,36	0,13
Residual	3,02e+07	76,0	NaN	NaN
GRUPO S				
C(level)	5,37e+05	1,0	2,12	0,15
C(stimulus_type)	3,23e+06	1,0	12,77	0,00068
C(level):C(stimulus_type)	1,73e+06	1,0	6,83	0,011
Residual	1,62e+07	64,0	NaN	NaN

En lo referente a la proporción de respuestas correctas (ver figura 51), el análisis estadístico reveló mejoras significativas del grupo S y del grupo de control en el posttest (ver tabla 45).

Figura 51 Proporción de respuestas correctas por escuelas para los ensayos del control inhibitorio en el pretest y posttest del test Stroop corazón-flor



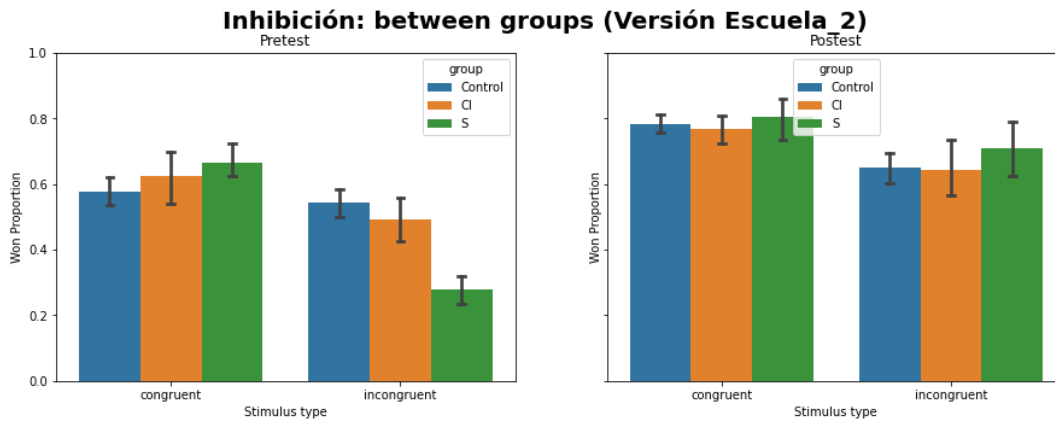


Tabla 45. Regresión lineal para la proporción de aciertos del control inhibitorio de cada grupo en el postest del test de Stroop corazón-flor

	Escuela 1		Escuela 2	
GRUPO CI				
C(level)	15,00	0,096	4,10	0,050
C(stimulus_type)	0,49	0,49	3,21	0,08
C(level): C(stimulus_type)	0,20	0,66	0,0033	0,95
Residual	NaN	NaN	NaN	NaN
GRUPO S				
C(level)	0,99	0,32	19,41	0,00027
C(stimulus_type)	4,24	0,046	14,15	0,0012
C(level): C(stimulus_type)	0,09	0,77	5,09	0,035
Residual	NaN	NaN	NaN	NaN
CONTROL	F	PR (>F)	F	PR (>F)
C(level)	15,00	0,00017	15,00	0,00017
C(stimulus_type)	4,49	0,036	4,49	0,036
C(level): C(stimulus_type)	1,54	0,22	1,54	0,22
Residual	NaN	NaN	NaN	NaN

8.2.2 Flexibilidad cognitiva

Al igual que ocurre con el control inhibitorio, en la flexibilidad cognitiva también se observa una mejora general en la proporción de respuestas correctas (ver figura 53), pero no en los tiempos de respuesta. La mejora en las respuestas correctas se da para los dos tipos de ensayos mixtos en los dos grupos experimentales. En el grupo de control solo para los ensayos incongruentes.

En lo referente a los tiempos de respuesta, comparamos los resultados del postest con los del pretest para cada escuela por separado (ver figura 52). No se encontraron mejoras de ningún grupo en la Escuela 1, pero sí mejoró el grupo CI en la Escuela 2 y hubo una tendencia del grupo S (ver tabla 46).

Figura 52. Tiempos de respuesta por escuelas para los ensayos de la flexibilidad cognitiva en el pretest y postest del test de Stroop corazón-flor

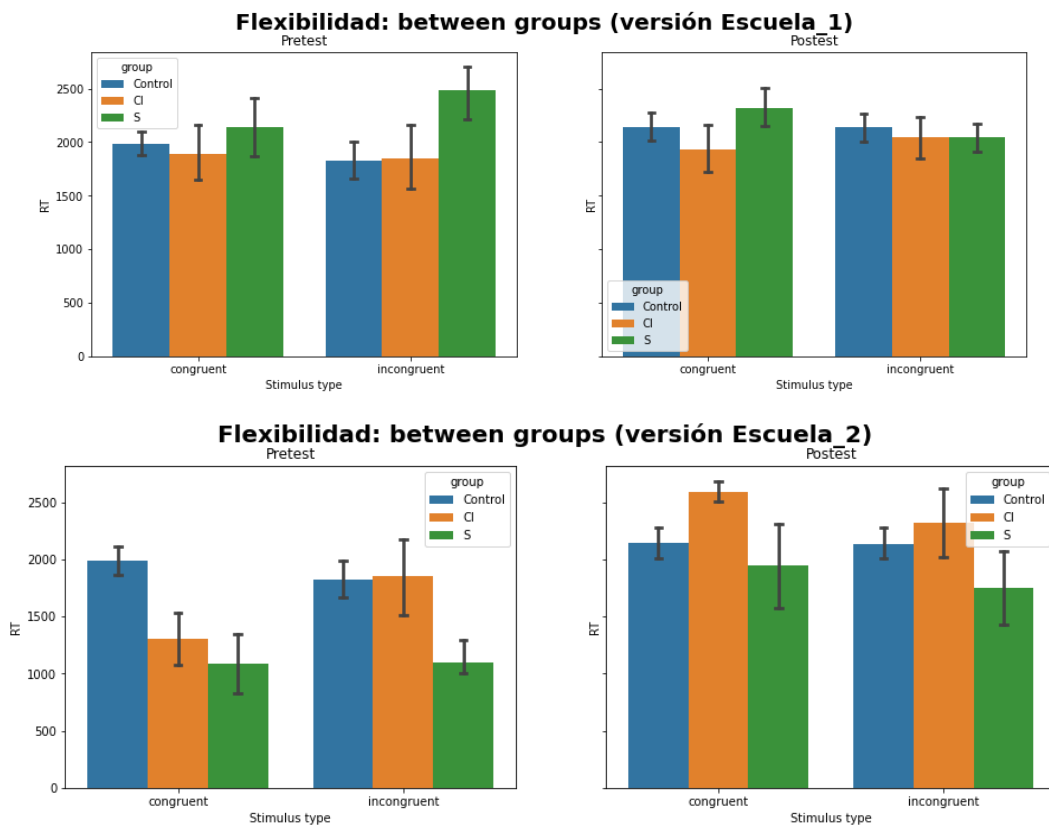
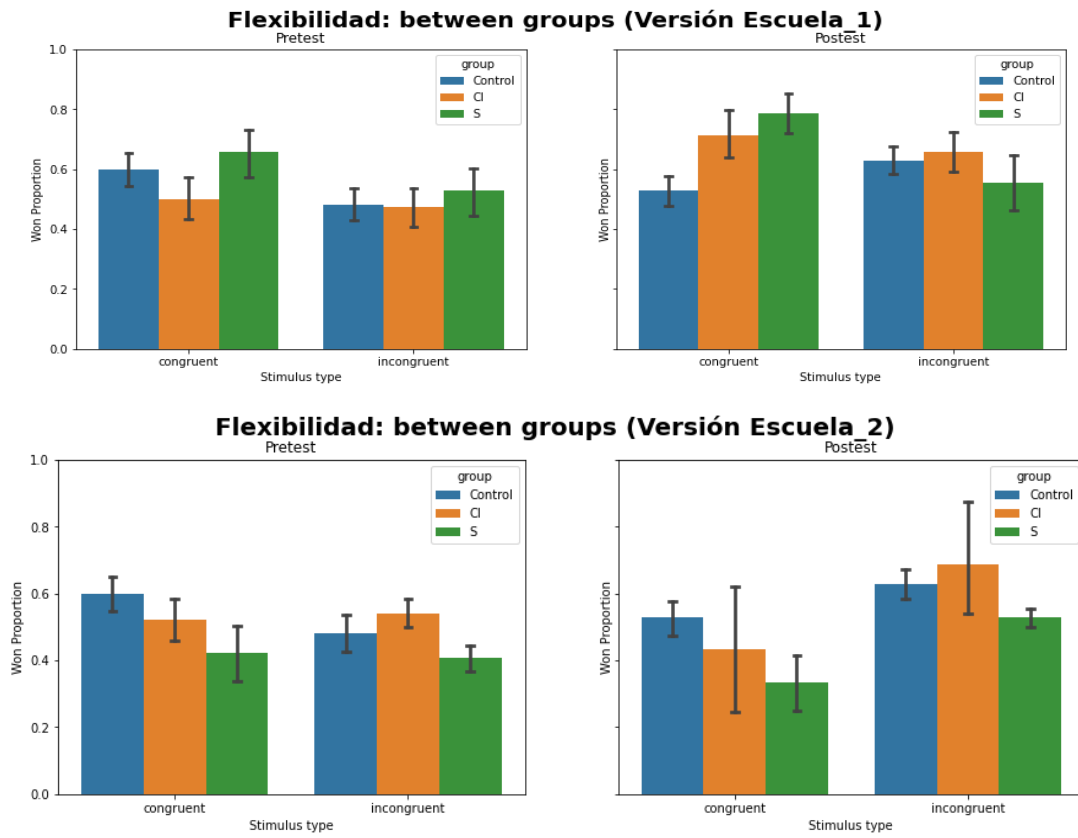


Tabla 46. Regresión lineal para los tiempos de respuesta de la flexibilidad cognitiva de cada grupo en el posttest del test de Stroop corazón-flor

CONTROL	sum_sq	df	F	PR (>F)
C(level)	1,39e+06	1,0	2,72	0,10
C(stimulus_type)	1,75e+05	1,0	0,34	0,56
C(level):C(stimulus_type)	1,44e+05	1,0	0,28	0,60
Residual	4,91e+07	96,0	NaN	NaN
GRUPO CI ESCUELA 2				
C(level)	3,09e+06	1,0	10,72	0,0067
C(stimulus_type)	7,70e+04	1,0	0,27	0,61
C(level):C(stimulus_type)	6,83e+05	1,0	2,37	0,15
Residual	3,46e+06	12,0	NaN	NaN
GRUPO S ESCUELA 2				
C(level)	1,71e+06	1,0	5,19	0,052
C(stimulus_type)	2,37e+04	1,0	0,072	0,80
C(level):C(stimulus_type)	3,08e+04	1,0	0,093	0,77
Residual	2,63e+06	8,0	NaN	NaN

Figura 53. Proporción de respuestas correctas por escuelas para los ensayos de la flexibilidad cognitiva en el pretest y postest del test de Stroop corazón-flor

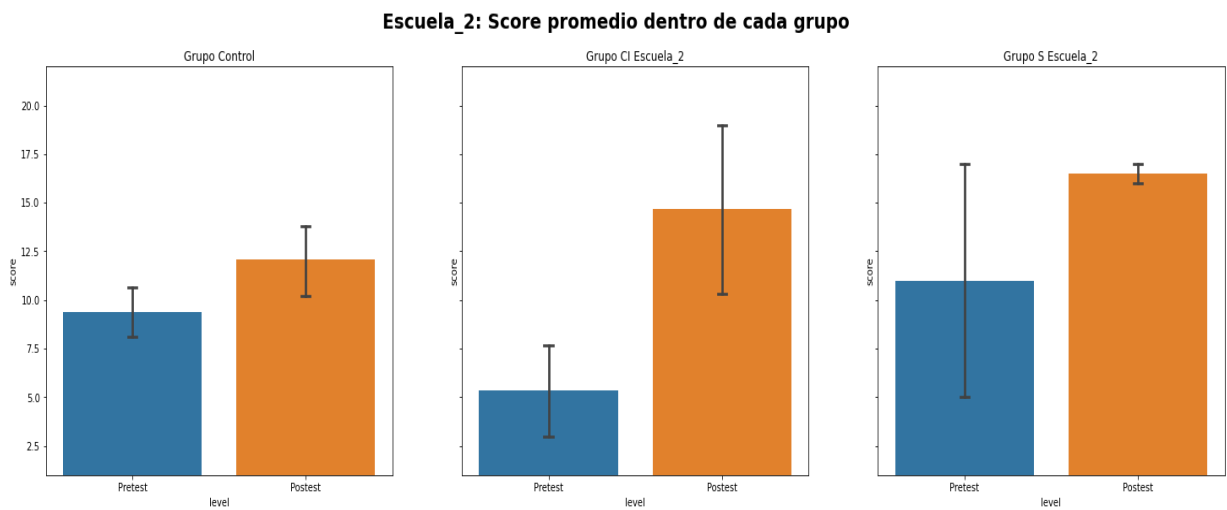


8.3 Test de Corsi

Tal como hicimos en el apartado 7.3, compartimos primero el *score*, que consideramos prioritario, y luego los resultados correspondientes a los tiempos de respuesta.

En la figura 54 se muestra la comparación entre los resultados del pretest y el postest para el grupo de control y los dos grupos experimentales en la Escuela 2. La prueba de Wilcoxon no aportó diferencias significativas entre las etapas de la intervención para ningún grupo (ver tabla 47).

Figura 54. *Score* de los grupos en la Escuela 2 para el pretest y el postest del test de Corsi



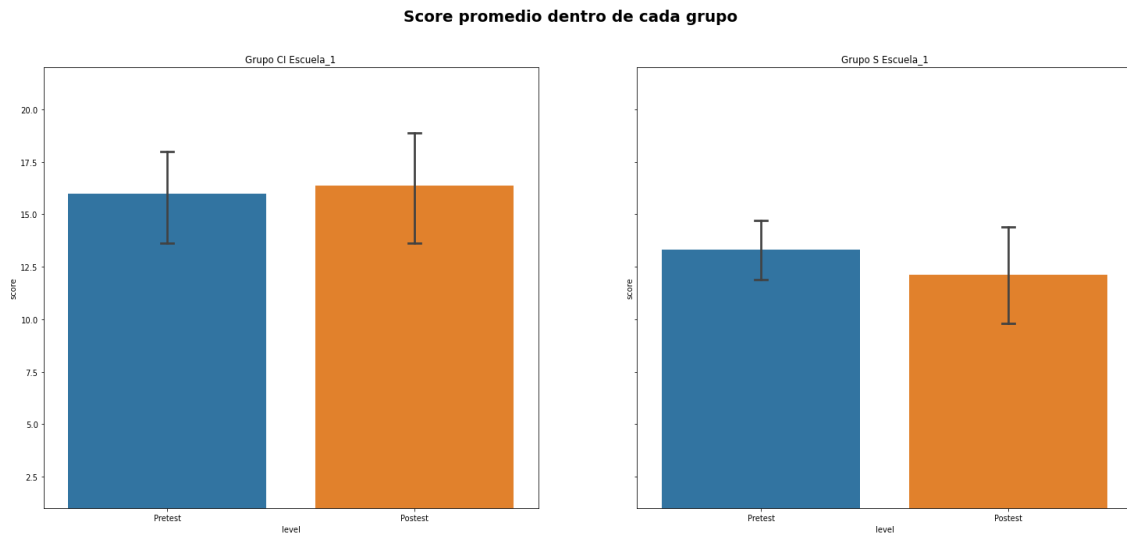
Muestra: nCI=3, nS=2, nC=12

Tabla 47. Análisis de Wilcoxon del *span* y *score* para cada grupo en el test de Corsi

	Control		Grupo CI		Grupo S	
	U	p	U	p	U	p
Span	39,0	0,20	6,0	0,16	7,5	1,0
Score E2	66,0	0,24	0,0	0,25	0,0	0,32
Score E1	66,0	0,24	12,0	0,73	24,0	0,77

Respecto a la Escuela 1, utilizamos la prueba de Wilcoxon para comparar los resultados de cada grupo experimental por separado entre el pretest y el postest (ver figura 55) y luego la prueba U de Mann-Whitney para comparar los resultados de los dos grupos en el postest. Los resultados revelaron que en esta escuela tampoco hubo diferencias entre las etapas de la intervención para ningún grupo experimental (ver tabla 48).

Figura 55. *Score* de los grupos en la Escuela 1 para el pretest y el postest del test de Corsi



Muestra: nCI=8, nS=10

Tabla 48. Análisis de Mann-Whitney del *score* por pares de grupos en el postest del test de Corsi

Comparación entre grupos		
	U	p
S y C de E2	28,5	0,62
CI y C de E2	43,5	0,49
CI y S de E1	56,0	0,17

Comparando los tiempos de reacción por *span* (para los de 3 estrellas) entre el pretest y el postest para cada grupo por separado, comprobamos que, como era esperable, la cantidad de estímulos afectó al tiempo de respuesta para los grupos experimentales (ver figura 56). Sin embargo, solo para los grupos S y CI fue significativo también el nivel ya que mostraron mejoras en el postest, tal como confirmó la regresión lineal para cada uno de los grupos (ver tabla 49).

Figura 56. Tiempos de respuesta en función del *span* en el postest del test de Corsi

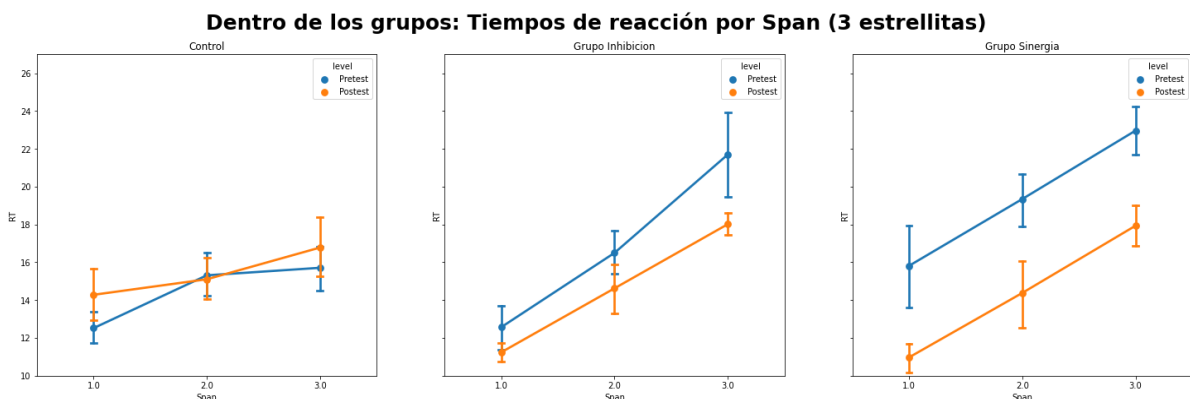


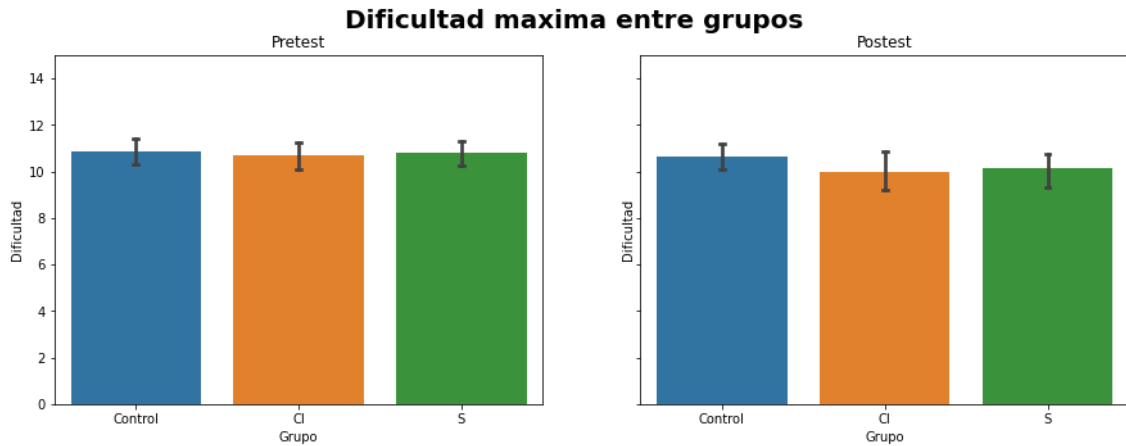
Tabla 49. Regresión lineal para los tiempos de respuesta de cada grupo en el posttest del test de Corsi

CONTROL	sum_sq	df	F	PR (>F)
C (span, sum)	125,71	2,0	2,33	0,10
C (level, sum)	23,37	1,0	0,87	0,35
C (span,,sum):C (level,sum)	19,05	2,0	0,35	0,70
Residual	2484,10	92,0	NaN	NaN
GRUPO CI				
C (span, sum)	4,42	2,0	13,15	0,000030
C (level, sum)	0,81	1,0	4,84	0,03
C (span,,sum):C (level,sum)	0,058	2,0	0,17	0,84
Residual	7,73	76,0	NaN	NaN
GRUPO S				
C (span, sum)	3,08	2,0	3,29	0,046
C (level, sum)	7,96	1,0	16,97	0,00015
C (span,,sum):C (level,sum)	0,047	2,0	0,050	0,95
Residual	22,05	47,0	NaN	NaN

8.4 Test TONI-4

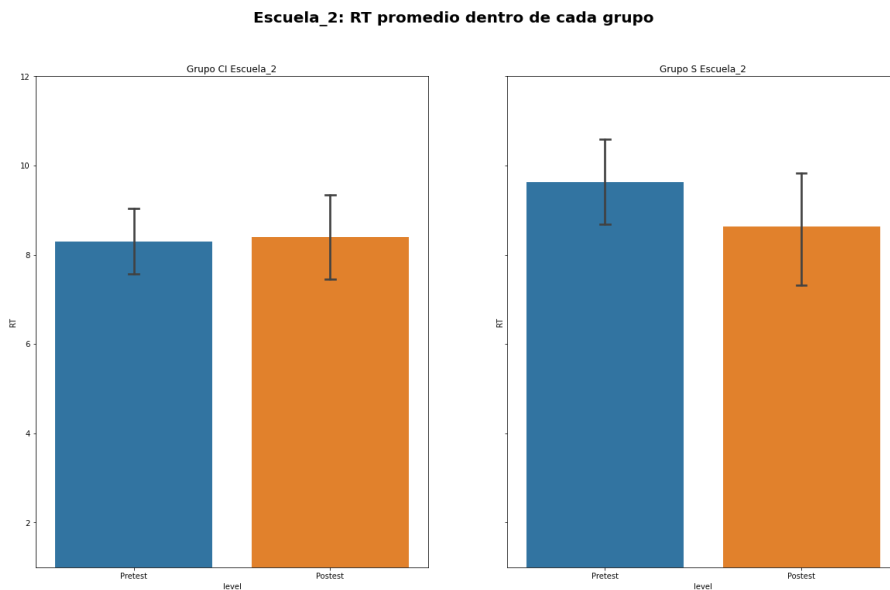
En la figura 57 se comparan los resultados de los niveles máximos alcanzados para los grupos experimentales y de control entre el pretest y el postest. El rendimiento de los grupos fue parecido.

Figura 57. Nivel máximo alcanzado por grupo en el pretest y el postest del test TONI-4



Hicimos la prueba de Wilcoxon para comparar los resultados de cada uno de los grupos entre el pretest y el postest. No se identificaron diferencias entre testeos para ningún grupo experimental (Ver tabla 50). En la comparativa de grupos experimentales por escuela entre ambas fases pasamos la prueba de Wilcoxon para los tiempos de respuesta promedio. En la Escuela 2 (ver figura 58) no encontramos diferencias entre testeos para ningún grupo (ver tabla 50).

Figura 58. Tiempos de respuesta por grupo en la Escuela 2 en el pretest y el postest del test TONI-4



Lo mismo hicimos para la Escuela 1 (ver figura 59) y tampoco encontramos diferencias entre testeos para ninguno de los dos grupos experimentales (ver tabla 50).

Figura 59. Tiempos de respuesta por grupo en la Escuela 1 en el pretest y el postest del test TONI-4

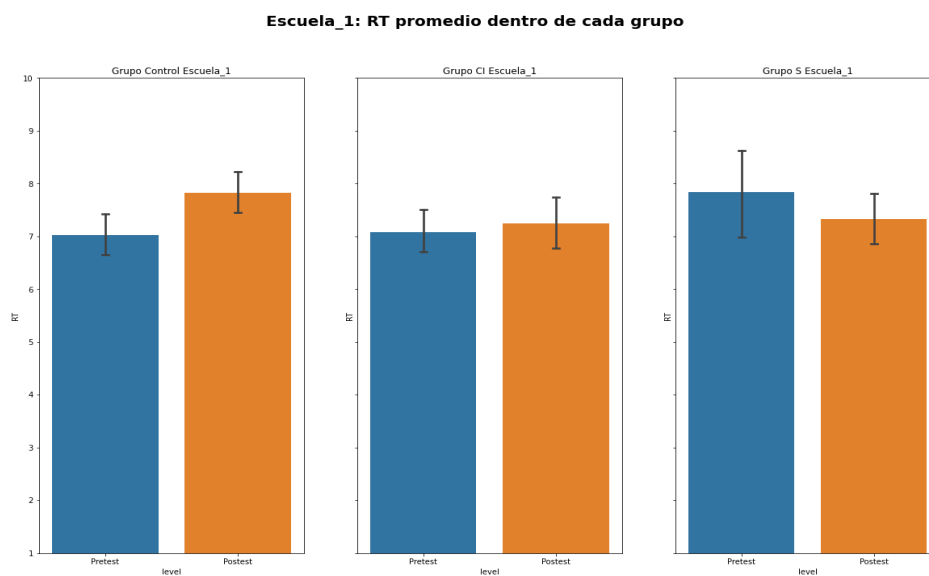


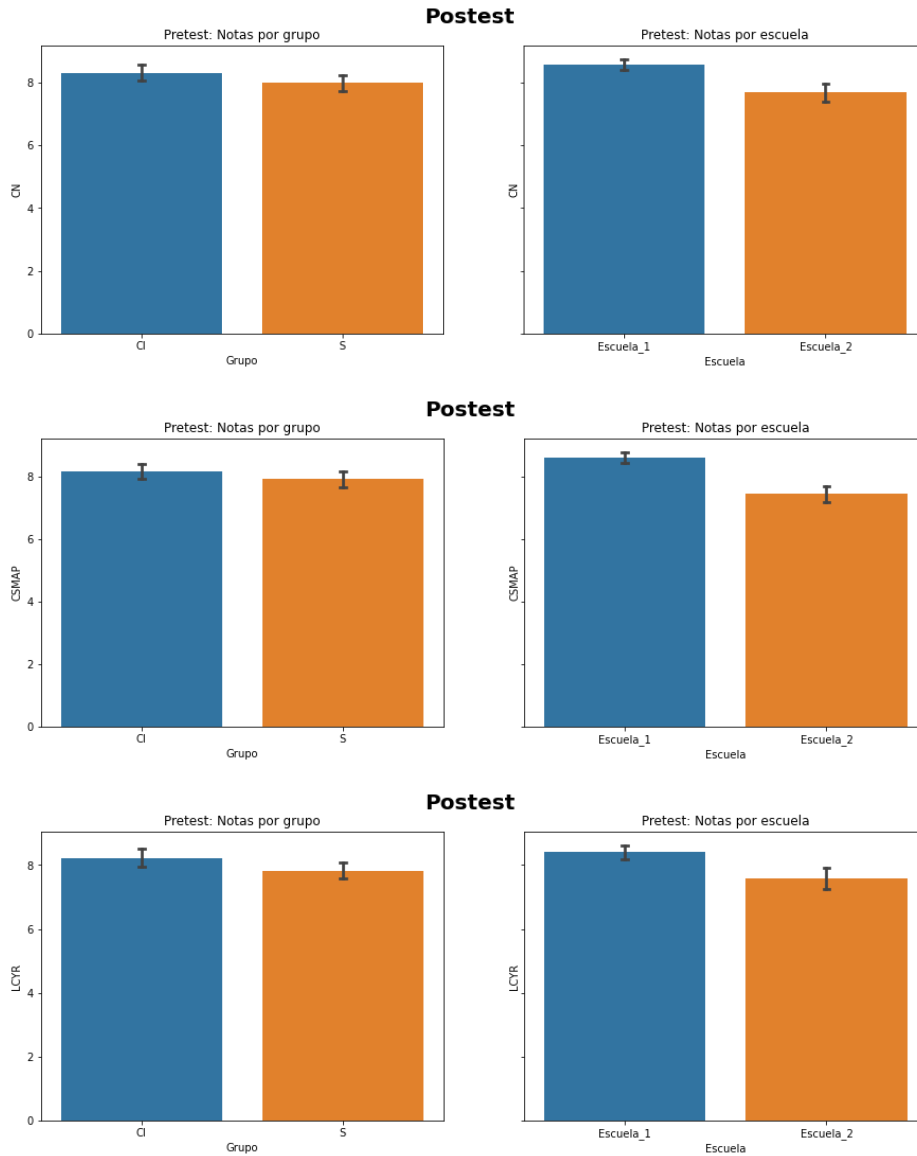
Tabla 50. Análisis de Wilcoxon del nivel máximo y los tiempos de respuesta para cada grupo en el test TONI-4

	Control		Grupo CI		Grupo S	
	U	p	U	p	U	p
Nivel máx.	170,0	0,89	45,0	0,13	30,0	0,16
RT E2			8,0	0,38	8,0	0,38
TR E1			30,0	0,83	17,0	0,57

8.5 Informes de las maestras

La tendencia observada en el pretest se mantuvo en el postest, es decir, los resultados de la Escuela 1 fueron también mejores en la fase final en todas las áreas evaluadas (ver figura 60).

Figura 60. Notas promedio de las áreas de conocimiento por grupo y escuela en el postest



Hicimos la prueba de Wilcoxon para comparar los resultados del postest con el pretest para cada uno de los grupos. Primero en la Escuela 2 y luego en la Escuela 1 (ver figura 61). El análisis estadístico reveló que no hubo diferencias significativas entre las etapas de la intervención para ninguno de los dos grupos experimentales (ver tabla 51).

Figura 61. Notas promedio por grupo y escuela en el pretest y el postest

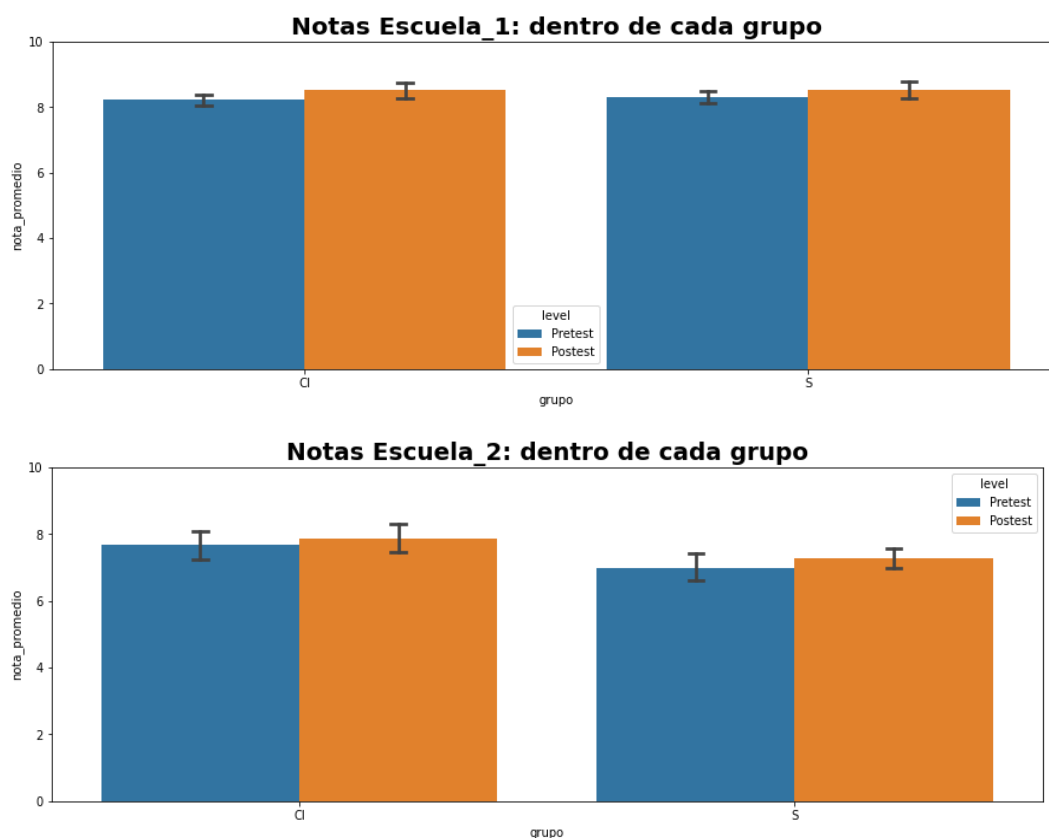


Tabla 51. Análisis de Wilcoxon de las notas por grupo

	Grupo CI		Grupo S	
	U	p	U	p
Notas E1	0,0	0,10	1,0	0,28
Notas E2	0,0	0,11	0,0	0,10

Finalmente, utilizando las escalas de la tabla 9 (ver apartado 6.3.2) sobre el nivel educativo y ocupacional como forma de aproximarnos al SES familiar, establecimos una clasificación en tres niveles, inicialmente, y en dos, al final, por grupos y escuelas. Comparando en dos niveles, encontramos diferencias entre los grupos asociadas al SES de las escuelas, es decir, el nivel educativo y ocupacional, en promedio, de las familias de la Escuela 1 era mayor que el de las familias de la Escuela 2 (ver tabla 52).

Tabla 52. Clasificación de los participantes atendiendo a su estatus socioeconómico

	3 NIVELES SES			2 NIVELES SES					
	GRUPOS						ESCUELAS		
	CI	S	C	CI	S	C	E1	E2	E3
Alto	9	13	12	16	15	15	23	8	15
Bajo	0	1	2	6	7	21	0	13	21
Medio	13	8	22						

IDEAS CLAVE

A modo de resumen, la comparación de los resultados en el postest con el pretest para los diferentes grupos y escuelas nos ha suministrado información relevante respecto de los resultados de la intervención. Por ejemplo:

- Test child-ANT: reducción del tiempo de respuesta para los dos grupos experimentales que fue acompañada de una mejora en la proporción de aciertos de los tres grupos que parece que fue mayor en el grupo de control. En lo referente a la atención ejecutiva, hubo mejoras del grupo S en los tiempos de respuesta de los ensayos congruentes.
- Test de Stroop corazón-flor: se dio una mejora significativa en control inhibitorio del grupo S en lo referente a los tiempos de respuesta de los ensayos congruentes. Fue acompañada de mejoras en la proporción de aciertos. En lo referente a la flexibilidad cognitiva, el grupo CI de la Escuela 2 mejoró los tiempos de respuesta de forma significativa en los dos tipos de ensayos y hubo una tendencia del grupo S.
- Test de Corsi: los dos grupos experimentales mejoraron los tiempos de respuesta en el postest, afectando de forma significativa el nivel alcanzado.
- Test TONI-4: no hubo diferencias entre los grupos experimentales.
- Informes de evaluación: los resultados de la Escuela 1 también fueron significativamente mejores que los de la Escuela 2 en el postest.

Como paso previo al último bloque sobre el análisis de los resultados presentados en el capítulo 7 y el 8, integramos y sintetizamos las ideas más relevantes del tercer bloque de la tesis:

- Los resultados del test child ANT demostraron que los dos grupos experimentales mejoraron los tiempos de respuesta promedio después de la intervención en los tres tipos de atención con mayores beneficios para el grupo S. Esto fue acompañado de una mejora en la proporción de ensayos acertados tras el entrenamiento que también se dio en el grupo de control. Respecto de la atención ejecutiva, hubo una mejora del grupo S en los ensayos congruentes.
- Los resultados del test de Stroop corazón-flor demostraron que, en lo referente al control inhibitorio, el grupo S mejoró significativamente los tiempos de respuesta de los ensayos congruentes en el posttest. Esto fue acompañado de una mejora en la proporción de ensayos acertados en los dos tipos de estímulos que también se dio en el grupo CI. En cuanto a la flexibilidad cognitiva, hubo una mejora significativa del grupo CI en los tiempos de respuesta del posttest, pero solo en la Escuela 2. Hubo mejoras generales en la proporción de aciertos, pero no en los tiempos de respuesta.
- En el test de Corsi hubo una mejora en los tiempos de respuesta de los dos grupos experimentales. El grupo S tuvo un peor rendimiento en el pretest que los otros grupos. No se identificaron mejoras en *score* o *span* aunque los resultados en *score* de la Escuela 1 fueron significativamente mejores en el pretest.
- En el test TONI-4, el grupo S tuvo mayores tiempos de respuesta que el resto de grupos en el pretest. En las medidas del posttest no se encontraron diferencias entre los grupos experimentales ni en los tiempos de respuesta ni el nivel máximo alcanzado.
- En las calificaciones derivadas de los informes suministrados por las maestras sobre las tres áreas de conocimiento, los resultados en el pretest y en el posttest fueron mejores en la Escuela 1 que en la Escuela 2, si bien no se encontraron diferencias significativas entre los grupos experimentales por escuelas.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

CAPÍTULO 9.

Análisis de los resultados

Capítulo 9. Análisis de los resultados

En este capítulo compartimos el análisis de los resultados obtenidos y las correspondientes conclusiones en función de los objetivos generales y específicos de la investigación y del marco teórico presentado inicialmente. Junto a esto, analizamos las limitaciones, cuestiones abiertas y líneas de futuro de la investigación y acabamos con las conclusiones finales.

9.1. Discusión de los resultados obtenidos

A partir de los objetivos planteados en la presente tesis, se propuso analizar el impacto de una intervención que utilizó el software lúdico Mate Marote sobre las tres funciones ejecutivas básicas, pero también sobre la atención, el razonamiento fluido y el aprendizaje vinculado a las tres áreas de conocimiento en la clase de cuatro años de la etapa de educación infantil en España. Se utilizó un entrenamiento específico que trabajó mayormente el control inhibitorio (grupo CI) y otro que trabajó de forma más específica la memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva (grupo S). En consonancia con nuestros objetivos generales y específicos analizamos los resultados obtenidos de forma global (Mate Marote) y los desglosamos para cada uno de los dos grupos experimentales (S y CI).

En lo referente a las hipótesis planteadas, anticipamos que se han cumplido parcialmente. El entrenamiento con el *software* Mate Marote, en general, y de los grupos experimentales S y CI, en particular, tiene un impacto positivo en las funciones ejecutivas básicas, aunque lo hacen de forma distinta. En cuanto a la transferencia del aprendizaje, se ha identificado de forma parcial con las medidas utilizadas. Junto a esto, parece que un entrenamiento más global de las funciones ejecutivas (grupo S) tiene mayores beneficios que un entrenamiento más específico (grupo CI). A continuación, se analizan las importantes implicaciones educativas y sociales que tienen los resultados expuestos en los capítulos 7 y 8.

9.1.1. Evaluación de la atención

En el test child ANT, los dos grupos experimentales mejoraron los tiempos de respuesta después de la intervención, a diferencia del grupo de control que obtuvo resultados muy similares en el pretest y en el postest. Esta mejora no fue a expensas de un aumento en el número de errores en los ensayos ya que se incrementó el porcentaje de aciertos tras el entrenamiento, lo que también se dio en el grupo de control. Resumiendo, los dos grupos experimentales que utilizaron Mate Marote mejoraron los tiempos de respuesta en el test child ANT entre el postest y el pretest sin perjudicar su eficiencia, es decir, reaccionaron más rápido ante los estímulos presentados, y de forma correcta, tras la intervención, lo que ya se había identificado en estudios anteriores con niños algo mayores (8 años en Goldin *et al.*, 2013 y 6-7 años en Goldin *et al.*, 2014).

Comparando los resultados de los dos grupos experimentales, vemos que el grupo S obtuvo mayores beneficios. En lo referente a los tiempos de respuesta de los seis tipos de ensayos distintos asociados a las tres redes atencionales, fueron mayores en el grupo S que en el CI, tanto en el pretest como en el posttest (ver tabla 36). Pero haciendo la sustracción entre los valores finales e iniciales encontramos una clara mejora para el grupo S para todo tipo de estímulos, que queda evidenciada en la figura 43. Las diferencias de mejora del grupo S con respecto al grupo CI fueron las siguientes en los diferentes ensayos: 148 ms con señal central, 186 ms con señal espacial, 398 ms sin señal, 172 ms con doble señal, 226 ms para ensayos congruentes y 76 ms para ensayos incongruentes.

Antes de analizar las diferencias obtenidas entre los dos grupos experimentales, comparemos las mediciones realizadas con las obtenidas en algún estudio similar. Centrándonos en la atención ejecutiva, si comparamos los datos de los ensayos congruentes e incongruentes para los dos grupos experimentales vemos que, tal como se esperaría, son mayores los tiempos de respuesta para los ensayos incongruentes que para los congruentes, tanto en la fase inicial de la intervención como en la final. En el pretest, la sustracción entre ensayos incongruentes y congruentes fue de aproximadamente 310 ms para el grupo CI y de 193 ms para el grupo S. Mientras que en el posttest fue de 294 ms para el grupo CI y de 327 ms para el grupo S. En un estudio en el que se calculó de forma específica esta sustracción entre los dos tipos de ensayos en niños de 4 años de edad para evaluar el impacto del desarrollo en el rendimiento de las llamadas tareas de conflicto (ver apartado 3.4.2), se encontró un valor de 425 ms, siendo el porcentaje de errores en los ensayos incongruentes un 13 % mayor que en los congruentes (Rueda *et al.*, 2004b). Son resultados distintos, pero asumibles. La diferencia podría explicarse por las diferencias individuales, las particularidades del contexto en el que se realizaron las pruebas (en nuestro caso en las propias escuelas), o incluso por las del formato de presentación de la tarea. La tarea que nosotros utilizamos es una adaptación del test child ANT que se estaba testando años atrás cuando se realizó la investigación citada.

La mejora de los tiempos de respuesta en los dos grupos experimentales es importante si la comparamos con la disminución vinculada al desarrollo en la etapa de la infancia analizada. Si en el estudio antes citado la diferencia en el tiempo de reacción como consecuencia del conflicto fue de 425 ms en niños de 4 años de edad, en otro estudio del mismo grupo de investigación el efecto disminuyó hasta los 115 ms en niños de 6 años de edad al realizar la misma tarea (Rueda *et al.*, 2004a). Aunque, tal como se mencionó en el apartado 6.3.2, existen diferencias entre niños de familias de alto y bajo SES, tanto en el desempeño en pruebas de funciones ejecutivas, en general, como de atención, en particular. Los niños de familias de entornos socioeconómicos más aventajados obtienen mejores rendimientos en atención ejecutiva y atención de alerta en el test

child ANT (Mezzacappa, 2004). Esta importante cuestión la analizaremos en el apartado 9.1.3 ya que en nuestra investigación encontramos diferencias entre el SES de las familias de las escuelas.

Pero ¿a qué se debieron los mayores beneficios del grupo S con respecto al grupo CI? Tal como mencionamos antes, los resultados de los tiempos de respuesta del grupo S en el pretest para cada uno de los distintos ensayos fueron mayores que los del grupo CI, es decir, el nivel de partida inicial fue distinto para cada grupo. Es una cuestión importante en las investigaciones sobre entrenamiento cognitivo vinculada a las diferencias individuales que ya introdujimos en el apartado 4.1 y que volveremos a analizar cuando comparemos los resultados globales por escuelas en el apartado 9.1.3. Sabemos que en algunos estudios sobre entrenamiento cognitivo (especialmente en aquellos centrados en la mejora de las funciones ejecutivas) se suelen beneficiar más los niños que parten de niveles de partida peores como consecuencia de un efecto de compensación, es decir, tendrían más margen de mejora. Es lo que ocurrió en la investigación de Goldin *et al.* (2014). Sin embargo, pueden existir matices diferenciadores en los estudios. En nuestro caso, si observamos la proporción de aciertos en el pretest (ver tabla 37), es muy parecida para los tres grupos. Comparando entre los dos grupos experimentales, incluso es ligeramente mejor para el grupo CI que para el grupo S. Y aunque no existen diferencias significativas, el incremento de mejora al final de la intervención es mayor para el grupo S en casi todos los ensayos. En el caso de la atención ejecutiva, el porcentaje de mejora para los ensayos congruentes del grupo S frente al grupo CI es del 15 % vs 11 % y, para ensayos incongruentes, del 17% vs 11%. Los menores tiempos de respuesta acompañados de una mayor eficiencia en el rendimiento sugieren un mejor control de las interferencias en la tarea. En consecuencia, podemos decir que efectos propios de la intervención explicarían la mejora combinada de los tiempos de respuesta y la proporción de aciertos para el grupo S, más allá del mayor margen de mejora en los tiempos de reacción en ese grupo.

Asimismo, el entrenamiento más diversificado de las funciones ejecutivas por parte del grupo S podría incidir en las mejoras identificadas. Recordemos que, aunque en los dos grupos se entrenaron todas las funciones ejecutivas a través de los diferentes juegos de Mate Marote (ver apartado 4.4.3), en el grupo S se incidió más específicamente en el trabajo de la memoria de trabajo y en la flexibilidad cognitiva, mientras que en el grupo CI se trabajó mayormente el control inhibitorio. Este enfoque de entrenamiento más global del grupo S podría explicar, al menos parcialmente, los resultados obtenidos. Según algunos autores, la atención ejecutiva constituye un mecanismo esencial responsable del funcionamiento ejecutivo global ya que la atención nos permite ejercer un control conductual consciente y ajustado a objetivos salvo que se den regularidades en el contexto que permitan establecer tendencias de respuestas (Kane y Engle, 2002; Posner, Rueda y Kanske, 2007). Por ejemplo, existe evidencia sólida de la relación entre la atención ejecutiva, la memoria de trabajo y el razonamiento (Kane et al., 2007). Y, en concreto,

del solapamiento específico entre la atención ejecutiva y la memoria de trabajo (Baddeley, 1993; Engle, 2002; McCabe *et al.*, 2010; Tiego *et al.*, 2020). Sin olvidar que la atención ejecutiva está en la base de la flexibilidad cognitiva (y también conductual) ya que necesitamos la deliberación ante contextos cambiantes para tomar las decisiones adecuadas.

En Rueda (2021) se propone un modelo en el que se visualiza el importante vínculo de la atención ejecutiva con las funciones ejecutivas del cerebro (ver figura 62) que está en consonancia con lo que acabamos de explicar.

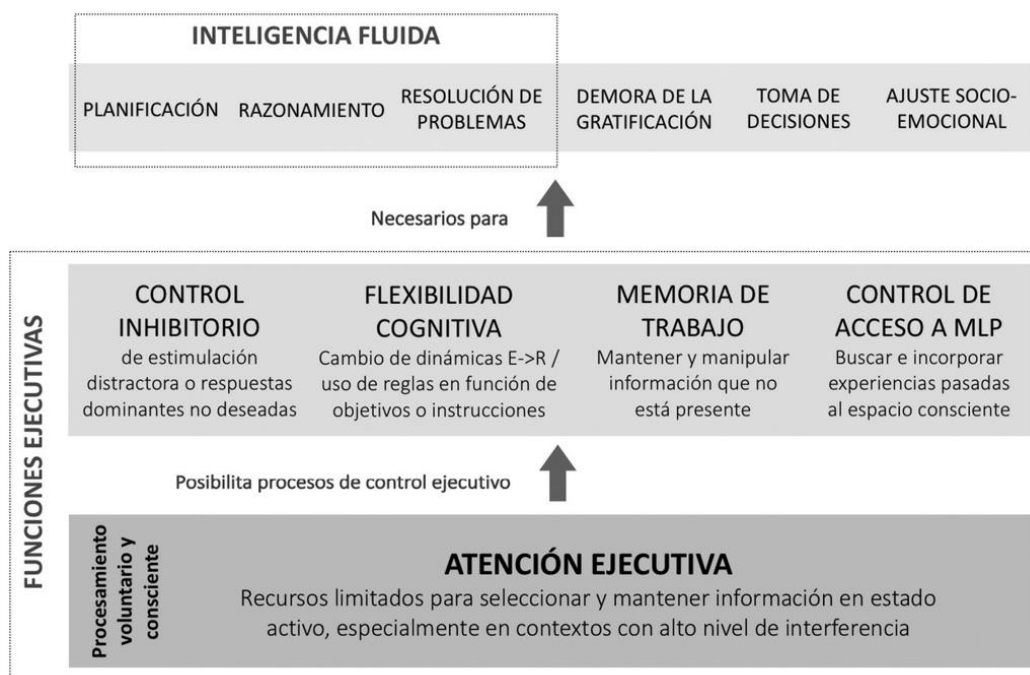


Figura 62. Modelo de la atención en el marco de las funciones ejecutivas (Rueda, 2021)

Investigaciones que han optado por programas de entrenamiento cognitivo que incluyen tareas que permiten trabajar varias funciones ejecutivas a la vez han identificado mejoras en los procesos atencionales que mide el test child ANT (ver, por ejemplo, Goldin *et al.*, 2014; Rueda *et al.*, 2005; Rueda, Checa y Cómbita, 2012), junto a mejoras en tareas no entrenadas, una cuestión importante que abordaremos luego. Estos estudios nos indicarían que un entrenamiento de mayor variedad, como en el caso del grupo S respecto al CI, podría favorecer la mejora de otras habilidades cognitivas como la atención. Aunque, por supuesto, falta evidencia empírica que lo corrobore.

9.1.2. Evaluación de las funciones ejecutivas básicas

Control inhibitorio y flexibilidad cognitiva

La evaluación del control inhibitorio y la flexibilidad cognitiva nos la suministró el test de Stroop corazón-flor. Se identificaron mejoras en los dos grupos experimentales que afectaron de forma diferente a cada una de las funciones ejecutivas básicas analizadas, es decir, al igual que se había identificado en estudios anteriores, Mate Marote tiene un impacto positivo en el entrenamiento cognitivo, pero afecta de forma distinta a las funciones ejecutivas básicas y de orden superior involucradas en el entrenamiento.

En lo referente al control inhibitorio, los tiempos de respuesta de los ensayos congruentes del grupo S mejoraron en el posttest. La mejora en el tiempo de respuesta del grupo S fue acompañada de un incremento de la proporción de aciertos que también se dio en el grupo CI. Sin embargo, en cuanto a la flexibilidad cognitiva, los beneficios se limitaron al grupo CI, dándose una mejora significativa en el posttest para los dos tipos de ensayos en la Escuela 2, que fue acompañada de una mejora en la proporción de aciertos. Quizás esto último sea lo más relevante. En el test de Stroop corazón-flor, a diferencia del test child ANT, se identificaron mejoras en la proporción de aciertos en todos los ensayos a expensas de los tiempos de respuesta (ver tablas 42 y 43), salvo en los ensayos fijos congruentes que requieren menor demanda cognitiva.

Analicemos, seguidamente, estas cuestiones por separado. Respecto del control inhibitorio, las comparaciones entre tiempos de respuesta solo tienen sentido si la ganancia de velocidad no es a costa de una pérdida de eficiencia. Y eso no se dio en el grupo S, es decir, mejoraron las dos variables medidas. La cuestión que nos planteamos es por qué esa mejora significativa ocurrió únicamente en ese grupo y no en el grupo CI (que trabajó mayormente el control inhibitorio), que luego mostró una mejora significativa en la fase final del test. La aparente contradicción podría deberse a características propias de la tarea utilizada.

La pista nos la podrían suministrar los estudios sobre entrenamiento cognitivo en los que se ha optado por entrenar procesos particulares. En un importante estudio mencionado en el apartado 4.1 en el que participaron niñas y niños de 4 y 5 años durante 5 semanas, hubo dos entrenamientos diferenciados (Thorell *et al.*, 2009). Por una parte, unos niños entrenaron específicamente la memoria de trabajo con el programa Cogmed. Los resultados reflejaron una mejora significativa en el desempeño en el tipo de las tareas entrenadas, en otras tareas de memoria de trabajo no entrenadas y en procesos atencionales. Por otra parte, el resto de niños entrenó de forma específica el control inhibitorio a través de tareas basadas en los paradigmas experimentales Go-NoGo, la tarea de flancos y una variación de las tareas GO-NoGo que se conocen como tareas con señal Stop. Los resultados revelaron una mejora en las dos últimas tareas mencionadas, pero no en la primera. Según los propios autores del estudio, la no mejora en la tarea Go-NoGo demuestra que un mejor rendimiento durante el entrenamiento no es suficiente para la transferencia, y enfatiza

la necesidad de utilizar siempre tareas no entrenadas como medidas de resultado. Asimismo, en el estudio analizado no se encontró en ninguna de las dos intervenciones transferencia del aprendizaje hacia tareas de control inhibitorio no entrenadas.

¿Qué conlleva esto respecto a nuestros resultados? Parece que las funciones cognitivas difieren en términos de la facilidad con que se pueden entrenar. Probablemente los juegos de Mate Marote del grupo S faciliten el buen desempeño en el inicio del test de Stroop corazón-flor que requiere la participación de la memoria de trabajo, tal como ocurre en las tareas tipo Simon. Mientras que los juegos del grupo CI permitan una transferencia específica a las competencias evaluadas por el test en el tercer bloque de ensayos, en donde se mezclan los estímulos congruentes e incongruentes, lo que conlleva una mayor demanda de control inhibitorio y de flexibilidad cognitiva. Es como si el entrenamiento del grupo CI ayudara a mejorar el rendimiento en la parte más complicada de la tarea.

En lo referente a los diferentes resultados obtenidos en las variables medidas, parece que la proporción de aciertos es un indicador más fiable de las funciones ejecutivas que el tiempo de respuesta a los 5 años de edad en tareas como el test de Stroop corazón-flor (Diamond *et al.* 2007). También en tareas que involucran más a la flexibilidad cognitiva, como la DCCS (ver apartado 3.4.2), cuando los niños tienen 3 y 4 años. En los test más enfocados al cambio de tareas se han identificado patrones de actuación inversos entre los adultos y los niños de 3 y 4 años de edad. Los adultos incrementan los tiempos de respuesta en los ensayos más difíciles preservando la eficiencia, mientras que los más pequeños responden más rápidamente al tener más dificultades para controlar los impulsos cuando la demanda de control inhibitorio en la tarea es mayor, como en el caso de los ensayos incongruentes y mixtos (Diamond y Kirkham, 2005).

En general, en tareas similares al test de Stroop corazón-flor que requieren control inhibitorio y flexibilidad cognitiva como, por ejemplo, la *Dots Task*, la relación entre la velocidad y la precisión de las respuestas se ve afectada por la edad. Por ejemplo, los niños de 4 años muestran mejores desempeños y menores tiempos de respuesta en los ensayos congruentes, mientras que muestran menores desempeños y mayores tiempos de respuesta en los ensayos incongruentes. Como consecuencia de su impulsividad a esa edad, la diferencia entre los tiempos de respuesta es mucho menor que la precisión de las respuestas. Mientras que los niños de 6 años en adelante muestran mayores diferencias en los tiempos de respuesta y menores en la precisión, algo parecido a lo que ocurre con los adultos (Davidson *et al.*, 2006). La precisión parece que es un mejor indicador de las funciones ejecutivas a los 4 años (franja de edad de nuestro estudio), mientras que a los 6 años en adelante lo sería el tiempo de respuesta (franja de edad del estudio de Goldin *et al.*, 2014). Estos cambios importantes durante el desarrollo explicarían lo que ocurrió en el estudio en el que está basada nuestra investigación (Goldin *et al.*, 2014; ver apartado 4.4.4). En aquel caso se

identificó una mejora en los tiempos de respuesta del grupo experimental y del grupo de control en los ensayos que dan información sobre el control inhibitorio, pero la proporción de respuestas no cambió y fue similar entre los dos grupos. Y también explicarían la mejora en la proporción de aciertos identificada en nuestra investigación, que fue a expensas del tiempo de respuesta en los ensayos de mayor dificultad (incongruentes y mixtos). La mejora significativa en los tiempos de respuesta del grupo S en los ensayos fijos congruentes se explicaría por la mayor demanda de memoria de trabajo existente en esta parte de la tarea, una función ejecutiva específicamente trabajada por ese grupo experimental durante la intervención.

En la misma línea, estudios recientes en los que se administró la tarea de Stroop corazón-flor a estudiantes de primero de Primaria revelaron que el tiempo de respuesta es un mejor indicador del rendimiento académico y comportamiento cuando los niños tienen mayores niveles de desempeño. Sin embargo, cuando los niños muestran peor desempeño en la tarea, es esta variable (y no el tiempo de respuesta) el mejor indicador del rendimiento académico y comportamiento. En el rango de seis y siete años de edad, la precisión predecía el funcionamiento ejecutivo de los niños que se desenvolvían peor en la tarea, mientras que el tiempo de respuesta era un mejor indicador para los que se desenvolvían mejor (Camerota, Willoughby y Blair, 2019; Camerota *et al.*, 2020). Los autores de estas investigaciones sugieren que la eficiencia y el tiempo de respuesta deberían utilizarse como indicadores conjuntos para evaluar el funcionamiento ejecutivo en la infancia, a diferencia de lo que se ha hecho en estudios anteriores considerando una única variable como indicadora del rendimiento en la tarea (por ejemplo, en Diamond *et al.*, 2007). Y es posible que las diferentes relaciones entre las variables reflejen un cambio del control reactivo al proactivo en el rango de edad estudiado, es decir, podría darse un punto de inflexión en el desarrollo de las funciones ejecutivas en la transición de la etapa de educación infantil a la de Primaria. En esta línea, en un estudio longitudinal en el que los participantes fueron evaluados en tareas de memoria de trabajo entre los 3 y los 10 años, se identificó una planificación más proactiva y eficiente de las secuencias de repuesta a partir de los 7 años de edad (Chevalier *et al.*, 2014). Mientras que en otro estudio longitudinal en el que se evaluaron las funciones ejecutivas básicas en diversas tareas entre los 5 y los 8 años edad, la mejora más importante se dio a los 6 años de edad, en promedio (Röthlisberger *et al.*, 2013).

Memoria de trabajo

En el test de Corsi los dos grupos experimentales también mejoraron los tiempos de respuesta después de la intervención, aunque el grupo S tuvo un peor rendimiento en el pretest que los otros grupos. Asimismo, los tiempos de respuesta del grupo CI fueron peores que los del grupo de control en el pretest. A diferencia del grupo de control, la cantidad de estímulos (*span*) afectó al tiempo de respuesta en los dos grupos experimentales, siendo significativo el nivel alcanzado. Sin

embargo, el hecho remarcable es que la mejora en los tiempos de respuesta de los grupos S y CI no fue acompañada por una mejora en el *score* (puntuación).

Analicemos por separado las dos cuestiones importantes identificadas. Por una parte, cómo afecta el rendimiento inicial (o desempeño basal; ver apartado 4.1) de un grupo, en nuestro caso el S, a los resultados finales. Y, por otra, a qué puede deberse que la mejora en los tiempos de respuesta en los grupos experimentales no fuera acompañada por una mejora ni en el *score* ni en el *span*.

Como ya mencionamos en el apartado 4.1, un factor especialmente relevante para explicar las diferencias individuales en el impacto del entrenamiento cognitivo es el nivel cognitivo de partida (Katz *et al.*, 2021). La literatura de entrenamiento cognitivo presenta hallazgos inconsistentes sobre quién se beneficia más de una intervención. En algunos estudios se ha comprobado que los participantes que parten de un rendimiento inicial mayor se benefician más de la intervención a través de un efecto de magnificación (Karbach, Könen y Spengler, 2017). La mayor eficiencia de recursos cognitivos les permitiría adquirir e implementar nuevas estrategias. Mientras que en otros estudios se ha comprobado que los participantes con un rendimiento de partida más bajo se benefician más de la intervención a través de un efecto de compensación (Lövdén *et al.*, 2012). En este caso, los participantes con mayor rendimiento inicial mostrarían menos beneficios porque ya están funcionando al nivel óptimo y tienen menos margen de mejora. Que el entrenamiento conduzca a efectos de compensación o magnificación puede depender del dominio cognitivo específico que se esté entrenando y del enfoque de entrenamiento implementado. Por ejemplo, un entrenamiento basado en estrategias, como el de la memoria episódica, sería más susceptible a un efecto de magnificación. Mientras que un efecto de compensación se daría más en un entrenamiento basado en procesos, como en el caso de las funciones ejecutivas. En un metaanálisis reciente se identificó una asociación negativa entre el rendimiento inicial en el proceso cognitivo entrenado y las mejoras en el entrenamiento, es decir, en los estudios sobre entrenamiento cognitivo prevalecen los efectos de compensación (Traut, Guild y Munakata, 2021).

Si nos centramos en la memoria de trabajo, se han identificado mejoras en la etapa de Primaria, como consecuencia de un efecto de compensación en el entrenamiento cognitivo (Carretti *et al.*, 2017; Karbach, Könen y Spengler, 2017). Pero también en educación infantil. Por ejemplo, Foy y Mann (2014) implementaron una intervención cognitiva utilizando el software Cogmed (5 años de edad media de los participantes) de 20 sesiones de una media hora de práctica por sesión. Los resultados mostraron que los niños con mayores cambios en distintas tareas de memoria de trabajo tras la intervención fueron aquellos que tuvieron un peor rendimiento inicial.

Aunque no siempre un menor desempeño basal está asociado a una mejora del rendimiento de la memoria de trabajo durante la intervención. Por ejemplo, en un estudio en el que participaron adultos se beneficiaron más del entrenamiento aquellos que tenían mejores rendimientos iniciales

en tareas de memoria de trabajo (Wiemers, Redick y Morrison, 2019). Mientras que en otro estudio también con adultos, se analizaron varios factores que contribuyen a las diferencias individuales y que pueden afectar al rendimiento en el entrenamiento cognitivo como la motivación, la personalidad, variables demográficas, etc. Solo el rendimiento cognitivo basal se relacionó sustancialmente con cambios en el rendimiento. El rendimiento cognitivo inicial más bajo se asoció con ganancias menores en un entrenamiento de la memoria de trabajo, particularmente en adultos más jóvenes (Guye, De Simoni y von Bastian, 2017). Tal como analizaremos en el apartado 9.1.3, la edad podría ser un factor importante para explicar los diferentes resultados obtenidos.

La mejora en los tiempos de respuesta de los grupos experimentales en el test de Corsi, pero no en el *score* y *span*, en ocasiones se debe a un efecto de retest por repetición de las tareas. Sin embargo, tal como explicamos en el apartado 5.4, utilizamos dos versiones distintas para cada una de las tareas de evaluación para evitar la habituación y minimizar el efecto test-retest.

Otra posible explicación para la disminución de los tiempos de respuesta, en consonancia con los análisis sobre el control inhibitorio y la flexibilidad cognitiva en el test de Stroop corazón-flor, sería el desarrollo de la memoria de trabajo en el intervalo de tiempo transcurrido entre las evaluaciones.

También podría ser que el test de Corsi no haya resultado adecuado para explicar cambios en el *score* y el *span* para la edad concreta de los participantes de nuestra investigación, o que incluso no fuera una tarea apropiada para identificar la transferencia de los videojuegos utilizados por el grupo S para estimular la memoria de trabajo.

9.1.3. Evaluación del razonamiento y aprendizaje

El razonamiento abstracto lo evaluamos con el test TONI-4, como fue explicado en el apartado 6.2.4. En el postest no se encontraron diferencias significativas entre los grupos, ni en los tiempos de respuesta ni en el nivel máximo alcanzado. Aunque conviene recordar que el grupo S tuvo mayores tiempos de respuesta que los otros grupos en el pretest. Seguramente una intervención limitada en el tiempo como la nuestra dificulte la obtención de mejoras vinculadas a las medidas de la tarea utilizada. De hecho, por lo general, la mejora de las funciones ejecutivas depende del tiempo practicado (Diamond y Ling, 2016), aunque se desconoce la cantidad óptima de práctica para producir resultados significativos. No obstante, tal como mencionamos en el apartado 4.1, en algún estudio se han identificado mejoras de inteligencia fluida en entrenamientos de pocas semanas centrados en la atención ejecutiva para niños de entre 4 y 6 a los de edad (Rueda *et al.*, 2005, Rueda, Checa y Cómbita, 2012). La transferencia lejana del aprendizaje constituye un tema controvertido que abordaremos en este mismo apartado.

En cuanto al aprendizaje en las tres áreas de conocimiento que se trabajan en la etapa de educación infantil (ver apartado 6.3.1), los resultados derivados de los informes suministrados por las maestras no aportaron diferencias entre los dos grupos experimentales, aunque los resultados fueron mejores en la Escuela 1 que en la Escuela 2, tanto en el pretest como en el postest. Aquí convergen dos cuestiones importantes que conviene analizar. Por una parte, la falta de evidencia de transferencia lejana. Y, por otra, las diferencias iniciales entre escuelas, con todo lo que ello conlleva.

El problema de la transferencia

En nuestra investigación no podemos concluir si realmente no existe la transferencia lejana del aprendizaje o no se da en los dominios que miden los informes de las maestras. También es importante remarcar la forma de reportar los informes, en los que observamos poca variabilidad en los registros. Ello conlleva que podrían no identificarse posibles efectos pequeños de transferencia en caso de existir.

Tal como se explicó en el apartado 4.1, los estudios referidos a los efectos de transferencia muestran resultados mixtos, al igual que las revisiones de la literatura. Vamos a centrarnos en los pocos metaanálisis existentes basados en estudios limitados a la infancia.

En un metaanálisis basado en estudios con participantes entre los 2 y 12 años de edad, se encontraron efectos de transferencia cercana, pero no en tareas no entrenadas (Kassai *et al.*, 2019). En contraste, otro metaanálisis en el que se evaluó la eficacia de los programas de entrenamiento cognitivo sobre funciones ejecutivas en niñas y niños de entre 3 y 6 años de edad encontró efectos de transferencia cercana y lejana con tamaños del efecto similares que fueron estadísticamente significativos (Scionti *et al.*, 2020). Este metaanálisis centrado en la etapa de infantil se basó en 32 estudios publicados entre el 2009 y el 2019, seleccionándose solo programas de entrenamiento cognitivo, lo cual es especialmente relevante para nuestra investigación. A diferencia de otros metaanálisis, en este se excluyeron programas basados en el currículo, intervenciones de *mindfulness* o programas motores especialmente diseñados para trabajar las funciones ejecutivas. Según las autoras de la investigación, la edad de los participantes podría ser el factor clave para explicar la diferencia con otros metaanálisis. Los efectos de transferencia lejana en niños en la etapa de educación infantil podrían explicarse porque su estructura de funciones ejecutivas no esté tan definida y separada como lo está a edades más avanzadas. Esta mayor superposición entre las distintas funciones ejecutivas posibilitaría que su entrenamiento se transfiriera más fácilmente a tareas no entrenadas directamente.

En nuestra investigación podrían haberse dado efectos pequeños de transferencia al aprendizaje en alguna de las áreas de conocimiento evaluadas, pero los instrumentos de medida de esos efectos no eran los suficientemente precisos para identificarlos. Junto a esto, es posible que se necesiten intervenciones algo más largas para que se dé la transferencia hacia el aprendizaje de cuestiones

académicas, al menos en estudiantes como los que participaron en nuestro estudio que no tienen trastornos del neurodesarrollo descritos y/o no pertenecen a SES desfavorecidos. De hecho, en Scionti *et al.* (2020) se identificaron mayores beneficios para los niños con TDAH y el efecto del entrenamiento cognitivo sobre el desarrollo de las funciones ejecutivas también fue significativo en niños de familias con bajo SES. De forma indirecta, analizaremos esta última cuestión seguidamente.

La diferencia entre escuelas

En cuanto a las diferencias iniciales entre escuelas, hemos identificado esta tendencia en varias de las medidas realizadas en el pretest. Resumiendo, los resultados de la Escuela 1 fueron mejores que los de la Escuela 2 en la proporción de aciertos en las medidas de atención ejecutiva del test child-ANT, en las medidas de control inhibitorio (especialmente en ensayos incongruentes) del test de Stroop corazón-flor, en los resultados de *score* del test de Corsi sobre memoria de trabajo visuoespacial, en las calificaciones sobre las áreas de conocimiento trabajadas en la etapa de infantil y en los tiempos de respuesta del test TONI-4 sobre razonamiento abstracto. Hay que matizar que, aunque las diferencias solo fueron significativas en el test de Corsi y en las calificaciones, esto afecta a la investigación ya que los dos grupos experimentales fueron asignados de forma aleatoria a dos escuelas que parten, en promedio, de rendimientos iniciales distintos. ¿A qué se debieron estas diferencias? En nuestra opinión, de acuerdo a la literatura, uno de los factores clave que podría explicar las diferencias identificadas es el SES familiar.

Tal como se explicó en el apartado 6.3.2, el SES es un constructo que abarca diferentes variables, siendo las más utilizadas el nivel educativo de los padres, su nivel ocupacional y los ingresos, aunque no existe consenso sobre cuál es la más importante. En nuestra investigación tuvimos acceso a las dos primeras variables y comprobamos que, en promedio, eran mayores en las familias de la Escuela 1 que en las de la Escuela 2 (ver tabla 52). Las dos escuelas son públicas y se encuentran en municipios cercanos de la provincia de Málaga. La distinta ubicación de las escuelas (la Escuela 1, en la montaña y la Escuela 2, en pleno centro urbano) y los diferentes espacios educativos en cada una de ellas (en la Escuela 1 más sosegados, abiertos e iluminados) también podrían influir ya que sabemos que la arquitectura y los espacios tienen un impacto en el cerebro (Coburn *et al.*, 2020) y en el aprendizaje (Godwin *et al.*, 2022).

Respecto al SES familiar, la evidencia parece clara en lo referente a su relación con el neurodesarrollo y las funciones ejecutivas, tal como analizamos en el apartado 6.3.2. En concreto, los niveles bajos de SES afectan de forma negativa al desarrollo de las funciones ejecutivas en la infancia y parece que la memoria de trabajo se ve especialmente afectada. Esto nos interesa mucho porque en nuestra investigación se dieron diferencias significativas de rendimiento inicial en el

test de Corsi. Por ejemplo, en un estudio realizado en Brasil en la etapa de Primaria en el que se utilizó el test de Corsi se encontró que el desempeño en la tarea entrenada estaba asociado al SES de los niños (Lima *et al.*, 2020). En otro estudio también reciente en el que participaron niñas y niños de entre 4 y 5 años de edad, se asoció el SES con un aumento en el tiempo de reacción en una tarea de memoria de trabajo distinta (St. John, Kibbe y Tarullo, 2019). Y en un estudio muy citado (Noble, McCandliss, y Farah, 2007) en el que participaron estudiantes de primero de Primaria se encontró una asociación significativa entre el SES y la memoria de trabajo que estaba afectada por variables vinculadas a las características del contexto familiar (lectura en casa, por ejemplo) y escolar (asistencia y calidad de la escuela, por ejemplo). Finalmente, en un estudio en el que participaron 131 niños de 5 años de bajo SES se investigó el impacto de la pobreza y los entornos rurales o urbanos sobre el rendimiento cognitivo en la infancia en Argentina. Se encontró que, que para un SES similar, los niños de entornos rurales obtuvieron peores resultados en tareas que miden las funciones ejecutivas y la inteligencia no verbal que los niños de entornos urbanos (Hermida *et al.*, 2019).

Todo lo que acabamos de mencionar nos lleva a analizar el impacto que el entorno de crianza tiene sobre el desarrollo cognitivo y sus implicaciones a nivel escolar, por una parte, y las consecuencias que tiene las diferencias de rendimiento inicial (en nuestro caso, las escuelas) sobre el diseño de las intervenciones neuroeducativas.

Importancia del contexto en la cognición

Sabemos que los entornos de pobreza perjudican al desarrollo y funcionamiento del cerebro (en especial las funciones ejecutivas) y parece que la relación entre la disparidad socioeconómica y el desarrollo del cerebro obedece a experiencias posteriores al nacimiento (Noble y Giebler, 2020). Junto a esto, conocemos la importancia de la seguridad afectiva y la adecuada estimulación en el desarrollo cognitivo del niño, especialmente en la infancia temprana. La sensibilidad afectiva, especialmente de la madre durante el primer año de vida, se asocia con un mejor desempeño ejecutivo del niño en la infancia (Kraybill y Bell, 2013). Y, desde el primer año de vida, el uso de buenas estrategias de estimulación cognitiva, como las que promueven el diálogo, la reflexión, la autonomía y el andamiaje favorecen el buen desempeño en los años siguientes en tareas ejecutivas como las que hemos utilizado en nuestra investigación (Bernier, Carlson y Whipple, 2010).

En un estudio reciente que ha utilizado datos de tres países, se ha identificado el gran impacto de las funciones ejecutivas de los padres biológicos (tanto de la madre como del padre) en el desarrollo de las funciones ejecutivas en la infancia temprana, encontrando prácticas específicas de crianza que subyacen a estas asociaciones que están en consonancia con todo lo mencionado

anteriormente. En concreto, los entornos de apoyo y el cuidado sensible que fomentan la autonomía (Ribner *et al.*, 2022).

En definitiva, unos estilos de cuidado promueven el desarrollo cognitivo y conductual del niño más que otros. Esto es importante conocerlo en casa, pero también en la escuela. El nivel educativo de la familia influye en el desarrollo del funcionamiento ejecutivo en la infancia y podría explicar, al menos parcialmente, la diferencia en los rendimientos iniciales entre la Escuela 1 y la Escuela 2.

Diferencias individuales en el impacto de las intervenciones

Como consecuencia de los resultados variados obtenidos por las intervenciones sobre entrenamiento cognitivo, algunos autores sugieren la necesidad de tener en cuenta las diferencias individuales en el diseño de las investigaciones (Diamond y Ling, 2020; Scionti *et al.*, 2020) algo parecido a lo que ocurre en la educación con la necesidad de atender la diversidad en el aula. Tal como mencionamos en el apartado 4.1, estas diferencias individuales pueden variar según predisposiciones genéticas, pero también dependen del contexto (edad, SES, motivación, rendimiento de base, etc.).

En nuestra investigación (y en todas con Mate Marote) se han utilizado algoritmos que adaptan la dificultad a las necesidades de los niños, tal como analizamos en el apartado 4.4.2. Sin embargo, estas diferencias individuales también podrían tener en cuenta criterios personalizados desde el diseño mismo de las actividades. Es lo que se ha hecho en estudios recientes con niños de entornos desfavorecidos en Argentina, administrando diferentes intervenciones según el rendimiento inicial de los participantes en una variedad de tareas cognitivas como la atención ejecutiva, el control inhibitorio o la memoria de trabajo (Giovannetti *et al.*, 2020; Giovannetti *et al.*, 2022). Esto permite generar grupos experimentales en la intervención de alto o bajo rendimiento, según el desempeño de partida, y compararlos con el grupo de control. Sin embargo, aunque este abordaje personalizado puede contribuir a la mejora de la eficacia de las intervenciones, existe alguna contrapartida, tal como plantean los propios autores de esos estudios. Por ejemplo, las intervenciones se mantuvieron dentro de un espectro madurativo de alto o bajo desempeño que podría sostener una idea unilineal del desarrollo.

Por otra parte, el grupo de investigación de Andrea Goldin está utilizando herramientas de *machine learning* para identificar datos de intervenciones anteriores con Mate Marote que permitan predecir el resultado de un protocolo de estimulación particular a partir de una serie de variables identificadas en el pretest para cada participante (Vladisauskas *et al.*, 2022). El objetivo final es garantizar que cada niño pueda beneficiarse de la mejor manera posible del tiempo de juego con Mate Marote. Al igual que ocurre con la educación, la investigación científica es compleja y no suministra soluciones únicas a los problemas planteados.

9.2 Limitaciones, consideraciones generales y direcciones futuras

A continuación, describimos algunas limitaciones de la presente tesis, junto con la discusión de posibles líneas futuras de investigación en la temática.

Antes de nada, comentar que los resultados son prometedores e indican que es posible fomentar el desarrollo de diferentes aspectos de las funciones ejecutivas con intervenciones relativamente simples y dentro del aula. No obstante, los resultados actuales deben considerarse en el contexto de las limitaciones del estudio. Tal como hemos explicado en el apartado anterior, la interpretación de los efectos del entrenamiento cognitivo en la infancia es compleja. Desde la perspectiva del neurodesarrollo, dependiendo del tipo de entrenamiento y del nivel madurativo del niño, la intervención puede afectar de diferentes formas (Jolles y Crone, 2012). Con los correspondientes costes, pero también beneficios. Por una parte, la inmadurez cerebral puede establecer límites sobre los beneficios del entrenamiento. Pero, por otra, el cerebro inmaduro del niño es más plástico y ello puede facilitar el aprendizaje.

Evidentemente, no es posible tener un control total sobre el diseño experimental de una investigación como la que hemos presentado en la que intervienen una gran diversidad de variables vinculadas a las combinaciones entre los juegos utilizados, su dificultad, la duración de las sesiones, etc. Y más realizándose en un contexto educativo real. Pero sí que existen aspectos que es necesario explicitar porque pueden afectar a los resultados.

Una primera limitación importante es el tamaño de la muestra. Un mayor número de participantes permitiría poder realizar análisis estadísticos más robustos que facilitarían la generalización a muestras similares. Esto se hizo patente en la asignación aleatoria de los participantes en los grupos experimentales de las dos escuelas. La existencia de diferencias en los niveles de rendimiento iniciales complicó extraer consecuencias sobre el impacto real de la intervención.

Otra limitación, a priori, fue la falta de un grupo de control activo (Green *et al.*, 2019). Por lo general, en las intervenciones sobre entrenamiento cognitivo suele compararse el desempeño de los participantes que reciben el entrenamiento con los integrantes de otro grupo que realizan una tarea menos exigente. En el caso de las funciones ejecutivas, el grupo experimental jugaría a *Mate Marote*, mientras que los integrantes del grupo de control activo lo harían a videojuegos con menor demanda cognitiva, es decir, que no estuvieran específicamente diseñados para estimular las funciones ejecutivas. Ese era el planteamiento de la investigación que iniciamos en la que se pretendía replicar el estudio de Goldin *et al.* (2014). Aunque con la interrupción del estudio por la pandemia, con todo lo que conllevó, tuvimos que cambiar la escuelas, el calendario y, en consecuencia, el diseño experimental del estudio. En la investigación definitiva hubo dos grupos

experimentales y un grupo de control pasivo. Sin embargo, en dos metaanálisis específicos sobre la infancia ya mencionados no se han encontrado diferencias entre los grupos de control activo y los pasivos (Kassai *et al.*, 2019; Scionti *et al.*, 2020). Tal como se mencionó en el apartado 4.3, las tareas de entrenamiento basadas en juegos podrían ser más efectivas que las tareas de entrenamiento estándar para las funciones ejecutivas (Johann y Karbach, 2020). Efectivamente, el juego es un mecanismo natural imprescindible para el desarrollo y aprendizaje en la infancia (Hirsh-Pasek *et al.*, 2009; Yogman *et al.*, 2018).

Una tercera limitación está vinculada a los instrumentos utilizados para las medidas en el pretest y el postest. Trabajos recientes mencionan posibilidades de mejora en las medidas de laboratorio orientadas a la evaluación de las funciones ejecutivas. Por ejemplo, Doebel (2020) plantea la importancia de incorporar al diseño e implementación de las intervenciones los valores, creencias, conocimientos y preferencias de los niños adquiridos durante el desarrollo. Las diferencias individuales son una cuestión importante que deberíamos tener en cuenta en próximos estudios. Otra cuestión importante está vinculada a la impureza de las medidas de las pruebas utilizadas, independientemente de que sean test estandarizados. Por ejemplo, cuando en una tarea (como en el caso del test de Stroop corazón-flor) intervienen varias funciones ejecutivas, puede ser difícil extraer conclusiones sobre la posible transferencia.

Finalmente, una última limitación podría estar vinculada a la sala y condiciones en las que se desarrolló la intervención para cada una de las escuelas, no exentas de elementos distractores exógenos para niñas y niños de solo cuatro años de edad. Aunque entendemos que en este caso no tiene que ser algo negativo si la intervención se da en un contexto escolar y no de laboratorio. Esto es importante porque en nuestro caso el entrenamiento fue administrado por las propias maestras e integrado de forma natural a su jornada escolar, lo que parece adecuado y necesario. En una investigación reciente en la etapa de infantil en la que las maestras suministraron un programa sobre funciones ejecutivas que años atrás fue suministrado por psicólogos externos a la escuela, no se encontraron apenas diferencias en los resultados obtenidos (Traverso, Viterbori y Usai, 2019). Evidentemente, nuestra formación y acompañamiento continuo aportaron la confianza necesaria a las maestras. Y el diseño de Mate Marote facilitó el proceso al tener los juegos y los test instrucciones adaptadas a la etapa de infantil.

A pesar de todas las dificultades, la intervención pudo realizarse con éxito. Los aprendizajes obtenidos abren nuevas posibilidades para seguir investigando Mate Marote en otros contextos educativos que nos permitan ir mejorando los protocolos utilizados. El objetivo es acercar la investigación al aula y que el mayor número posible de niñas y niños pueda beneficiarse de estas estrategias sencillas que permiten estimular las funciones ejecutivas, con todo lo que ello conlleva.

En líneas generales, nuestra investigación fue similar a los estudios que nos sirvieron de referencia (Goldin *et al.*, 2013; Goldin *et al.*, 2014), adaptando la intervención al contexto propio de las escuelas públicas participantes. En nuestro caso, creímos más adecuado realizar el estudio en la etapa de educación infantil, a diferencia de las anteriores investigaciones que se realizaron en la etapa de Primaria. En esta etapa de educación obligatoria, tanto en España como en Argentina, suelen utilizarse calificaciones sobre el desempeño en las diferentes asignaturas que posiblemente suministren información más objetiva que la facilitada por los informes de las maestras. El vínculo emocional que suele crearse en la infancia temprana entre la maestra y su alumnado puede afectar a la objetividad en las valoraciones.

Por otra parte, quizás la diferencia más grande de nuestra investigación respecto a la de Goldin *et al.* (2014) estuvo relacionada con las características socioeconómicas de los participantes. En el caso de Argentina, los estudiantes eran de SES desfavorecidos. Junto a esto, los entornos de pobreza no se manifiestan de la misma forma en los dos países. Por ejemplo, en el caso de Argentina hubo un beneficio específico en los estudiantes que faltaron más a clase como consecuencia de pertenecer a entornos rurales. Ese tipo de faltas de asistencia no se dieron en nuestra investigación. Los resultados del estudio de Goldin *et al.* (2014) fueron maravillosos porque confirmaron que un entrenamiento cognitivo puede ayudar a compensar los efectos de la desventaja social, lo que era difícil obtener en nuestra intervención.

Pero más allá de estas particularidades, nos ha servido para analizar el impacto de la intervención en cualquier tipo de estudiantes. Porque tanto en la Escuela 1 como en la Escuela 2 todos los niños jugaron a los videojuegos asignados de Mate Marote. Y lo disfrutaron. Eso es fantástico porque el objetivo de este *software* es estimular las funciones ejecutivas de todos y todas. Esto es muy importante porque tradicionalmente la investigación clínica se ha centrado en los déficits. Pero todas las investigaciones con Mate Marote se realizan en contextos educativos reales. Además, mencionar que las maestras que colaboraron en el proyecto neuroeducativo también lo disfrutaron, integrándolo de forma natural en su horario escolar. Esto confirma que una investigación rigurosa en el aula que optimiza el aprendizaje es posible y nos anima a seguir realizando investigaciones similares en otras escuelas. La replicabilidad de los estudios es imprescindible en la metodología científica.

Por otra parte, la gran novedad residía en la existencia de dos grupos experimentales con protocolos de entrenamiento diferentes. Este tipo de entrenamiento conviene seguir analizándolo, especialmente en escuelas que partan de rendimientos iniciales más parecidos que los que tuvimos en la Escuela 1 y en la Escuela 2. Los matices concretos de los diferentes tipos de entrenamiento cognitivo nos pueden ayudar a entender cómo se mejoran las funciones ejecutivas y en qué condiciones se puede dar la transferencia del aprendizaje.

Finalmente, conviene recordar que, aunque el entrenamiento cognitivo sea útil en el ámbito clínico y en educación, no es la única forma de trabajar las funciones ejecutivas y probablemente tampoco sea la mejor. En una importante revisión, Diamond y Ling (2020) han identificado dos estrategias que serían más beneficiosas para estimular de forma global las funciones ejecutivas. Por una parte, la combinación *mindfulness* y movimiento que se da, por ejemplo, en las artes marciales, yoga, taichí o en determinados programas motores que combinan las acciones motoras con una mayor demanda cognitiva. Aunque existen pocos estudios rigurosos publicados y la evidencia podría cambiar en los próximos años. Y, por otra parte, los programas curriculares en los que se trabaja de forma continuada e intencionada las funciones ejecutivas a través de dinámicas concretas durante toda la jornada escolar. Un buen ejemplo de ello es el programa *Tools of the Mind*, especialmente diseñado para la etapa de educación infantil (Bodrova y Leong, 2007). Al igual que el programa Head Start REDI, aplicado en entornos socioeconómicos desfavorecidos (Bierman *et al.*, 2008). Pero existen otros programas basados en tareas lúdicas que parece que también mejoran las funciones ejecutivas en esta etapa. Por ejemplo, el Programa PRSIST (Howard *et al.*, 2020), Red Light, Purple Light Circle Time Games (McClelland *et al.*, 2019) y Chicco y Nana (Traverso, Viterbori, y Usai, 2019).

De cara a futuras investigaciones, seguramente una buena estrategia para estimular las funciones ejecutivas en la infancia sea conciliar los diferentes enfoques (programas curriculares basados en el juego que aprovechen las nuevas tecnologías) teniendo en cuenta las necesidades globales de las niñas y niños para poder facilitar una transferencia lejana del aprendizaje. Ello requiere identificar en qué condiciones funcionan los programas y para quien.

Por nuestra parte, continuaremos colaborando con el CEP de Marbella-Coín en investigaciones neuroeducativas durante el año 2023. Ya tenemos planificadas algunas intervenciones. Por un lado, queremos analizar el impacto de Mate Marote en el desarrollo de las funciones ejecutivas y del aprendizaje escolar utilizando el mismo diseño experimental de esta investigación en otras escuelas. Y adaptarlo a diferentes rangos de edad. Pensando en esto, se han mejorado algunos de los videojuegos de la plataforma y se han incorporado otros que conviene investigar. Y, por otro, hemos comenzado a analizar el impacto de Neuroeduca (Molina, 2022), un programa de entrenamiento de las funciones ejecutivas en educación infantil y Primaria que se integra fácilmente en la práctica cotidiana del aula a través de una gran variedad de tareas que ponen el foco en la estimulación de las distintas funciones ejecutivas. Además, conciliando las dos estrategias, estamos pensando también en la integración de Mate Marote como un rincón de aprendizaje más en el aula de infantil. Un mundo lleno de posibilidades que nos debe conducir a la mejora educativa y social. Sin excusas. Con mucho cerebro y más corazón. La mejora siempre es posible.

9.3 Conclusiones

En esta tesis hemos realizado un viaje desde la neurociencia hasta el aprendizaje en el contexto real del aula (ver figura 63) a través de un enfoque neuroeducativo centrado en el trabajo de las funciones ejecutivas, un pilar fundamental en el intento de mejora de la educación y la sociedad.

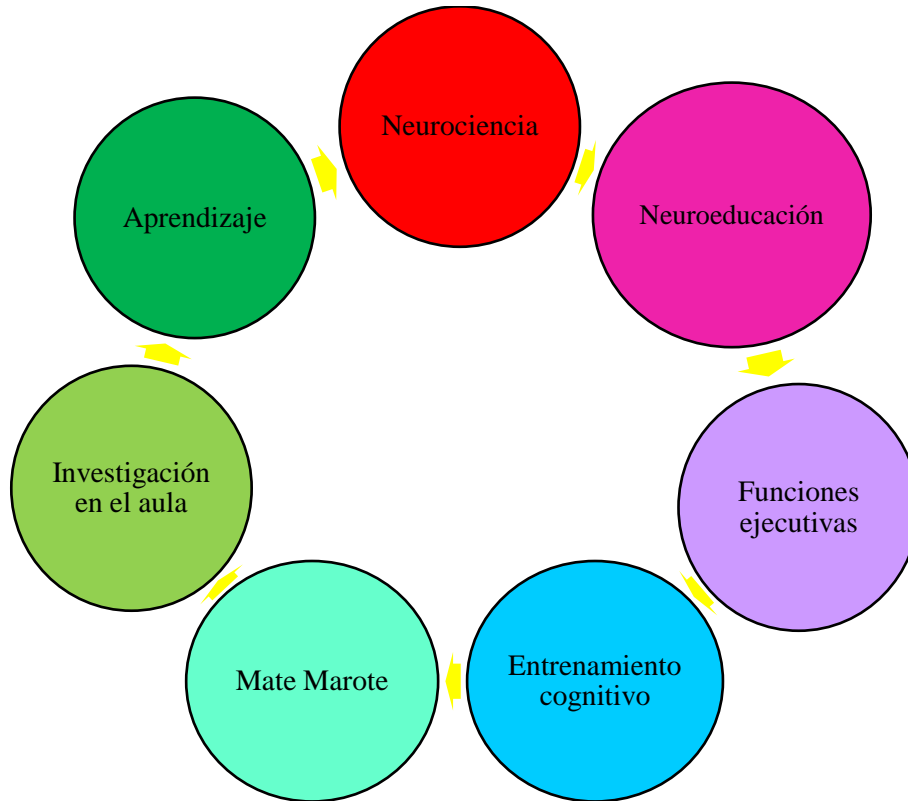


Figura 63. Recorrido desde la neurociencia hacia el aprendizaje

A continuación, comentamos de forma breve algunas de las conclusiones alcanzadas en este recorrido neuroeducativo transitado, abierto, y no exento de nuevas y grandes posibilidades.

La neurociencia

Entender cómo pensamos, sentimos y nos comportamos las personas requiere entender cómo funciona el cerebro, el órgano responsable del aprendizaje que trabaja de forma holística e integradora en continua cooperación con el resto del organismo. No somos cerebros, somos personas que tienen un cerebro. Los avances de las investigaciones en neurociencia en los últimos años están siendo extraordinarios. Estos avances nos están ayudando a entender cómo somos las personas y por qué nos necesitamos.

La neuroeducación

El acercamiento de la neurociencia a la educación a través de un enfoque transdisciplinar constituye un reto y una necesidad. Es muy importante trasladar de forma adecuada la información

entre disciplinas que utilizan procedimientos y lenguajes que son distintos, por lo que es necesaria la formación del profesorado en neuroeducación, un campo emergente en el que confluyen diferentes disciplinas que está suministrando investigaciones que tienen una repercusión directa en el aprendizaje y desarrollo en la infancia. Muchas de las evidencias empíricas suministradas por estas investigaciones nos ayudan a entender cuáles son las prácticas educativas más adecuadas y por qué funcionan. Desde la perspectiva neuroeducativa se considera esencial un aprendizaje desde y para la vida.

Las funciones ejecutivas

Las funciones ejecutivas son imprescindibles para el bienestar, el aprendizaje y el buen desempeño cotidiano por lo que constituyen un pilar fundamental en neuroeducación. En consonancia con los mecanismos de neuroplasticidad que nos permiten aprender durante toda la vida, las funciones ejecutivas pueden entrenarse y mejorarse, también en el contexto del aula. Para estimular de forma adecuada las funciones ejecutivas es necesario utilizar un enfoque global, continuado e intencionado que atienda las necesidades cognitivas, emocionales, sociales y físicas de todas las niñas y niños. Por eso el juego es tan importante para el aprendizaje y el desarrollo en la infancia.

El entrenamiento cognitivo

El auge de las investigaciones sobre entrenamiento cognitivo se debe, básicamente, a la plasticidad cerebral identificada en la infancia, a la utilización de herramientas tecnológicas que posibilitan evaluaciones más rigurosas y a la posibilidad de transferencia a tareas no entrenadas. Un alto porcentaje de estas intervenciones utilizan programas de entrenamiento a través de tareas de ordenador. Seguramente no sea la estrategia más efectiva para estimular las funciones ejecutivas, pero permite registrar y analizar la información de forma científicamente rigurosa. Más allá de que deban aparecer propuestas metodológicas que puedan mejorar los protocolos de entrenamiento y medición.

El entrenamiento cognitivo constituye una forma de intervención potente en educación que no debe sustituir a otras estrategias utilizadas sino complementarlas. La educación y la intervención social no son ajenas a la nueva era digital.

Mate Marote

Mate Marote es un *software* lúdico diseñado sobre la base del conocimiento neurocientífico para entrenar las funciones ejecutivas que integra con naturalidad, a través del juego, algunos de los factores críticos desde la perspectiva neuroeducativa, como la narrativa, la sorpresa, el *feedback*, la clarificación de los objetivos de aprendizaje, el andamiaje, etc. Y podemos afirmar que funciona. Tanto en esta investigación como en otras anteriores se ha confirmado que Mate Marote

permite mejorar aspectos centrales de la cognición en la infancia. Entrenar varias funciones ejecutivas a través de la combinación de diferentes juegos que trabajen mayormente unas u otras, tal como hemos desarrollado de forma novedosa en esta investigación, parece una buena estrategia. Aunque se necesitan nuevas investigaciones que nos permitan entender las razones por las que mejoran unas habilidades y no otras, y bajo qué condiciones.

Investigación en el aula

El origen de esta tesis reside en la identificación de una necesidad educativa importante: acercar la investigación científica al aula desde una perspectiva neuroeducativa real. Se ha confirmado que este acercamiento es posible, necesario y fácil de poner en práctica. Un entrenamiento específico de las funciones ejecutivas, como el que hemos realizado, puede integrarse fácilmente en el desarrollo diario de la jornada escolar, tanto en los espacios y tiempos, como en las tareas curriculares cotidianas que van trabajando las actitudes, contenidos y competencias básicas en la etapa educativa correspondiente. En nuestro caso concreto, el proyecto de entrenamiento cerebral (o la “misión”, como le llamaban las niñas y niños participantes) lo disfrutaron tanto las maestras como los estudiantes. Nosotros acompañamos y guiamos el proceso formando a las maestras para que fuera posible la implementación adecuada de la investigación.

El aprendizaje

El objetivo último siempre es el aprendizaje. Tal como hemos explicado en esta tesis, lo importante es un aprendizaje global, con sentido y significado para el aprendiz. En nuestra intervención se han evaluado diferentes habilidades cognitivas básicas y también la incidencia sobre el aprendizaje en las áreas de conocimiento que se trabajan de forma específica en la etapa de educación infantil evaluada. A pesar de las limitaciones propias asociadas a cada medida, tanto la evaluación a través de los test estandarizados utilizados, como los informes suministrados por las maestras, son útiles (Zonneveld *et al.*, 2022). De hecho, la confluencia de la metodología cuantitativa, ampliamente utilizada en la investigación científica, con la metodología cualitativa, muy utilizada en educación, es muy beneficiosa y potente para evaluar el aprendizaje en el aula. Por otra parte, el tema de la transferencia del aprendizaje es un tema controvertido en el campo del entrenamiento cognitivo, aunque hemos suministrado evidencias de que una intervención que entrena varias funciones ejecutivas a la vez pueda favorecerla. Habrá que esperar (y realizar) nuevas investigaciones.

Lo que podemos decir es que nuestra intervención, ecológica, relativamente corta y poco costosa, abre las puertas a que lleguen a la educación algunos de los métodos propios de la neurociencia cognitiva que pueden ayudar a optimizar los procesos de enseñanza y aprendizaje. La educación

mejora el funcionamiento cerebral y conocer cómo funciona el cerebro puede también ayudar a mejorar la educación. Un bucle apasionante. Seguimos aprendiendo y seguimos compartiendo.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Referencias bibliográficas

- Adesope, O. O., Trevisan, D. A., y Sundararajan, N. (2017). Rethinking the use of tests: A meta-analysis of practice testing. *Review of Educational Research*, 87(3), 659-701.
- Adom, D., Mensah, J. A., y Dake, D. A. (2020). Test, measurement, and evaluation: understanding and use of the concepts in education. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, 9(1), 109-119.
- AERA (2011). Code of ethics (Approved by American Educational Research Association Council February 2011). *Educational Researcher*, 40(3), 145–156.
- Albrecht, B., Brandeis, D., von Sandersleben, H. U., Valko, L., Heinrich, H., Xu, X., ... y Banaschewski, T. (2014). Genetics of preparation and response control in ADHD: the role of DRD 4 and DAT 1. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 55(8), 914-923.
- Allegrini, A. G., Selzam, S., Rimfeld, K., von Stumm, S., Pingault, J. B., y Plomin, R. (2019). Genomic prediction of cognitive traits in childhood and adolescence. *Molecular Psychiatry*, 24(6), 819-827.
- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., y Pickering, S. J. (2006). Verbal and visuospatial short-term and working memory in children: Are they separable? *Child Development*, 77(6), 1698-1716.
- Alonso, J. R. (2018). *Historia del cerebro: una historia de la humanidad*. Guadalmazán.
- Álvarez, J. G. (2010). *Breve historia del cerebro*. Crítica.
- Álvarez, J. G. (2013). La mente y el cerebro: historia y principios de la neurociencia cognitiva. En D. Redolar (Ed.), *Neurociencia cognitiva* (pp. 3-25). Editorial Médica Panamericana.
- Amalric, M., y Dehaene, S. (2016). Origins of the brain networks for advanced mathematics in expert mathematicians. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(18), 4909-4917.
- American Educational Research Association (2014). *Standards for educational and psychological testing*. American Educational Research Association.
- Anderberg, R. H., Hansson, C., Fenander, M., Richard, J. E., Dickson, S. L., Nissbrandt, H., ... y Skibicka, K. P. (2016). The stomach-derived hormone ghrelin increases impulsive behavior. *Neuropsychopharmacology*, 41(5), 1199-1209.
- Anderson, M. C., y Levy, B. J. (2009). Suppressing unwanted memories. *Current Directions in Psychological Science*, 18(4), 189-194.
- Anderson, M. L. (2010). Neural reuse: A fundamental organizational principle of the brain. *Behavioral and Brain Sciences*, 33(4), 245-266.
- Ansari, D., De Smedt, B., y Grabner, R. H. (2012). Neuroeducation—a critical overview of an emerging field. *Neuroethics*, 5(2), 105-117.

- Ansari, D., König, J., Leask, M., y Tokuhamma-Espinosa, T. (2017). Developmental cognitive neuroscience: Implications for teachers' pedagogical knowledge. En S. Guerriero, (Ed.), *Pedagogical knowledge and the changing nature of the teaching profession*. OECD Publishing.
- Aran-Filippetti, V., y Richaud de Minzi, M. C. (2012). A structural analysis of executive functions and socioeconomic status in school-age children: Cognitive factors as effect mediators. *The Journal of Genetic Psychology*, 173(4), 393-416.
- Arce, T., y McMullen, K. (2021). The Corsi Block-Tapping Test: Evaluating methodological practices with an eye towards modern digital frameworks. *Computers in Human Behavior Reports*, 4, 100099.
- Au, J., Sheehan, E., Tsai, N., Duncan, G. J., Buschkuehl, M., y Jaeggi, S. M. (2015). Improving fluid intelligence with training on working memory: a meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 22(2), 366-377.
- Bacigalupe, M. D. L. A. (2020). Los estudios del comportamiento humano en la construcción de la neurociencia educacional. *Inter Disciplina*, 8(22), 223-245.
- Baddeley, A. D. (1993). Working memory or working attention? En A. Baddeley, y L. Weiskrantz (Eds.), *Attention: Selection, awareness, and control* (pp. 152–170). Oxford University Press.
- Baddeley, A. (2003). Working memory: looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(10), 829-839.
- Baddeley, A. (2012). Working memory: theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*, 63, 1-29.
- Badre, D. (2020). *On task: how our brain gets things done*. Princeton University Press.
- Badre, D., y D' Esposito, M. (2007). Functional magnetic resonance imaging evidence for a hierarchical organization of the prefrontal cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(12), 2082-2099.
- Badre, D., y Wagner, A. D. (2006). Computational and neurobiological mechanisms underlying cognitive flexibility. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(18), 7186-7191.
- Baggetta, P., y Alexander, P. A. (2016). Conceptualization and operationalization of executive function. *Mind, Brain, and Education*, 10(1), 10-33.
- Baillet, S. (2017). Magnetoencephalography for brain electrophysiology and imaging. *Nature Neuroscience*, 20(3), 327-339.
- Bakermans-Kranenburg, M. J., y Van Ijzendoorn, M. H. (2006). Gene-environment interaction of the dopamine D4 receptor (DRD4) and observed maternal insensitivity predicting externalizing behavior in preschoolers. *Developmental Psychobiology: The Journal of the International Society for Developmental Psychobiology*, 48(5), 406-409.

- Bandettini, P. A. (2009). What's new in neuroimaging methods? *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1156(1), 260-293.
- Banich, M. T., y Compton, R. J. (2018). *Cognitive neuroscience*. Cambridge University Press.
- Barkley, R. A. (2012). *Executive functions: What they are, how they work, and why they evolved*. Guilford Press.
- Barnett, S. M., y Ceci, S. J. (2002). When and where do we apply what we learn? A taxonomy for far transfer. *Psychological Bulletin*, 128(4), 612.
- Barquero, L. A., Davis, N., y Cutting, L. E. (2014). Neuroimaging of reading intervention: a systematic review and activation likelihood estimate meta-analysis. *PLOS ONE*, 9(1), e83668.
- Battro, A. (2010). The teaching brain. *Mind, Brain, and Education*, 4 (1), 28–33.
- Battro, A. M., Fischer, K. W., y Léna, P. J. (2008). *The educated brain: Essays in neuroeducation*. Cambridge University Press.
- Beaty, R. E., Benedek, M., Silvia, P. J., y Schacter, D. L. (2016). Creative cognition and brain network dynamics. *Trends in Cognitive Sciences*, 20(2), 87-95.
- Beaty, R. E., Kenett, Y. N., Christensen, A. P., Rosenberg, M. D., Benedek, M., Chen, Q., ... y Silvia, P. J. (2018). Robust prediction of individual creative ability from brain functional connectivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(5), 1087-1092.
- Beery, A. K., y Zucker, I. (2011). Sex bias in neuroscience and biomedical research. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 35(3), 565-572.
- Beghetto, R. A., y Karwowski, M. (2018). Educational consequences of creativity: A creative learning perspective. *Creativity. Theories–Research–Applications*, 5(2), 146-154.
- Beghetto, R. A., y Kaufman, J. C. (2014). Classroom contexts for creativity. *High Ability Studies*, 25(1), 53-69.
- Benedek, M., Karstendiek, M., Ceh, S. M., Grabner, R. H., Krammer, G., Lebuda, I., ... y Kaufman, J. C. (2021). Creativity myths: Prevalence and correlates of misconceptions on creativity. *Personality and Individual Differences*, 182, 111068.
- BERA. (2018). British Educational Research Associations' ethical guidelines for educational research. <https://www.bera.ac.uk/publication/ethical-guidelines-for-educational-research-2018>
- Berlanga, V. y Rubio, M. J. (2012). Clasificación de pruebas no paramétricas. Cómo aplicarlas en SPSS. *REIRE. Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 5(2), 101-113.
- Bernier, A., Carlson, S. M., y Whipple, N. (2010). From external regulation to self-regulation: Early parenting precursors of young children's executive functioning. *Child Development*, 81(1), 326-339.

- Best, J. R., Miller, P. H., y Naglieri, J. A. (2011). Relations between executive function and academic achievement from ages 5 to 17 in a large, representative national sample. *Learning and Individual Differences*, 21(4), 327-336.
- Bierman, K. L., Nix, R. L., Greenberg, M. T., Blair, C., y Domitrovich, C. E. (2008). Executive functions and school readiness intervention: Impact, moderation, and mediation in the Head Start REDI program. *Development and Psychopathology*, 20, 821– 843.
- Bishop, D. V. M. (2014). What is educational neuroscience. <http://deevybee.blogspot.co.uk/2014/01/what-is-educational-neuroscience.html>.
- Bisquerra, R. (2004). *Metodología de la investigación educativa*. La Muralla.
- Bjork, R. A., y Bjork, E. L. (1992). A new theory of disuse and an old theory of stimulus fluctuation. En A. F. Healy, S. M. Kosslyn, y R. M. Shiffrin (Eds.), *From learning processes to cognitive processes: Essays in honor of William K. Estes* (vol. 2, pp. 35–67). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Bjork, R. A., y Bjork, E. L. (2020). Desirable difficulties in theory and practice. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 9(4), 475.
- Blair, C. (2002). School readiness: Integrating cognition and emotion in a neurobiological conceptualization of children's functioning at school entry. *American psychologist*, 57(2), 111.
- Blair, C., y Raver, C. C. (2014). Closing the achievement gap through modification of neurocognitive and neuroendocrine function: Results from a cluster randomized controlled trial of an innovative approach to the education of children in kindergarten. *PLOS ONE*, 9(11), e112393.
- Blair, C., y Razza, R. P. (2007). Relating effortful control, executive function, and false belief understanding to emerging math and literacy ability in kindergarten. *Child Development*, 78(2), 647-663.
- Blakemore, S. J. (2018). *Inventing ourselves: The secret life of the teenage brain*. PublicAffairs.
- Blakemore, S. J., y Frith, U. (2005). *The learning brain: Lessons for education*. Blackwell Publishing.
- Boccia, M., Piccardi, L., Palermo, L., Nori, R., y Palmiero, M. (2015). Where do bright ideas occur in our brain? Meta-analytic evidence from neuroimaging studies of domain-specific creativity. *Frontiers in Psychology*, 6, 1195.
- Bodrova, E., y Leong, D. J. (2007). *Tools of the mind: The vygotskian approach to early childhood education*. Pearson.
- Bonawitz, E., Shafto, P., Gweon, H., Goodman, N. D., Spelke, E., y Schulz, L. (2011). The double-edged sword of pedagogy: Instruction limits spontaneous exploration and discovery. *Cognition*, 120(3), 322-330.

- Booth, A. E. (2009). Causal supports for early word learning. *Child Development*, 80(4), 1243-1250.
- Bowers, J. S. (2016). The practical and principled problems with educational neuroscience. *Psychological Review*, 123(5), 600.
- Bradley, M. M., Costa, V. D., Ferrari, V., Codispoti, M., Fitzsimmons, J. R., y Lang, P. J. (2015). Imaging distributed and massed repetitions of natural scenes: Spontaneous retrieval and maintenance. *Human Brain Mapping*, 36(4), 1381-1392.
- Brown, L., Sherbenou, R. J., y Johnsen, S. K. (1982). *Test of nonverbal intelligence*. PRO-ED.
- Brown, L., Sherbenou, R. J., y Johnsen, S. K. (2010). *Test of nonverbal intelligence* (4th ed.). PRO-ED.
- Bruer, J. T. (1997). Education and the brain: A bridge too far. *Educational Researcher*, 26(8), 4-16.
- Bruer, J. T. (2006). Points of view: On the implications of neuroscience research for science teaching and learning: Are there any? A skeptical theme and variations: The primacy of psychology in the science of learning. *CBE—Life Sciences Education*, 5(2), 104-110.
- Bruer, J. T. (2016). Neuroeducación: Un panorama desde el puente. *Propuesta Educativa*, (46), 14-25.
- Bryck, R. L. y Fisher, P. A. (2012). Training the brain: Practical applications of neural plasticity from the intersection of cognitive neuroscience, developmental psychology, and prevention science. *The American Psychologist*, 67 (2), 87–100.
- Bueno, D. (2017). *Neurociencia para educadores*. Octaedro.
- Bueno, D. (2019a). Genetics and learning: how the genes influence educational attainment. *Frontiers in Psychology*, 10, 1622.
- Bueno, D. (2019b). *Neurociencia aplicada a la educación*. Síntesis.
- Bunge, M. (2013). *La ciencia: su método y su filosofía*. Laetoli.
- Bunge, S. A., y Zelazo, P. D. (2006). A brain-based account of the development of rule use in childhood. *Current Directions in Psychological Science*, 15(3), 118-121.
- Burrows, T. L., Whatnall, M. C., Patterson, A. J., y Hutchesson, M. J. (2017, December). Associations between dietary intake and academic achievement in college students: A systematic review. In *Healthcare* (Vol. 5, No. 4, p. 60). Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- Buschman, T. J., y Miller, E. K. (2007). Top-down versus bottom-up control of attention in the prefrontal and posterior parietal cortices. *Science*, 315(5820), 1860-1862.
- Butterworth, B., Varma, S., y Laurillard, D. (2011). Dyscalculia: from brain to education. *Science*, 332(6033), 1049-1053.
- Caffarena, C., y Rojas-Barahona, C. (2019). La autorregulación en la primera infancia: avances desde la investigación. *Revista Ecuatoriana de Neurología*, 28(2), 37-49.

- Camerota, M., Willoughby, M. T., y Blair, C. B. (2019). Speed and accuracy on the Hearts and Flowers task interact to predict child outcomes. *Psychological Assessment, 31*(8), 995–1005.
- Camerota, M., Willoughby, M. T., Magnus, B. E., y Blair, C. B. (2020). Leveraging item accuracy and reaction time to improve measurement of child executive function ability. *Psychological Assessment, 32*(12), 1118–1132.
- Campbell, D. T. y Stanley, J. (1963). *Experimental and quasi-experimental designs for research*. Rand McNally.
- Cantor, P., Lerner, R. M., Pittman, K. J., Chase, P. A., y Gomperts, N. (2021). *Whole-child development, learning, and thriving: A dynamic systems approach*. Cambridge University Press.
- Carpenter, S. K., Cepeda, N. J., Rohrer, D., Kang, S. H., y Pashler, H. (2012). Using spacing to enhance diverse forms of learning: Review of recent research and implications for instruction. *Educational Psychology Review, 24*(3), 369-378.
- Carretti, B., Borella, E., Elosúa, M. R., Gómez-Veiga, I., y García-Madruga, J. A. (2017). Improvements in reading comprehension performance after a training program focusing on executive processes of working memory. *Journal of Cognitive Enhancement, 1*(3), 268-279.
- Carvalho, G. B., y Damasio, A. (2021). Interoception and the origin of feelings: A new synthesis. *BioEssays, 43*(6), 2000261.
- Casey, B. J., Tottenham, N., Liston, C., y Durston, S. (2005). Imaging the developing brain: what have we learned about cognitive development? *Trends in Cognitive Sciences, 9*(3), 104-110.
- Castles, A., Rastle, K., y Nation, K. (2018). Ending the reading wars: Reading acquisition from novice to expert. *Psychological Science in the Public Interest, 19*(1), 5-51.
- Cea D’Ancona, M. A. (2012). *Metodología cuantitativa: estrategias y técnicas de investigación social*. Editorial Síntesis.
- Censor, N., Sagi, D., y Cohen, L. G. (2012). Common mechanisms of human perceptual and motor learning. *Nature Reviews Neuroscience, 13*(9), 658-664.
- Champagne, F. A., y Mashoodh, R. (2009). Genes in context: Gene–environment interplay and the origins of individual differences in behavior. *Current Directions in Psychological Science, 18*(3), 127-131.
- Chang, Z., Schwartz, M. S., Hinesley, V., y Dubinsky, J. M. (2021). Neuroscience concepts changed teachers’ views of pedagogy and students. *Frontiers in Psychology, 12*.

- Chawla, L. (2020). Childhood nature connection and constructive hope: A review of research on connecting with nature and coping with environmental loss. *People and Nature*, 2(3), 619-642.
- Chein, J. M., y Morrison, A. B. (2010). Expanding the mind's workspace: Training and transfer effects with a complex working memory span task. *Psychonomic Bulletin & Review*, 17(2), 193-199.
- Chevalier, N., James, T. D., Wiebe, S. A., Nelson, J. M., y Espy, K. A. (2014). Contribution of reactive and proactive control to children's working memory performance: Insight from item recall durations in response sequence planning. *Developmental psychology*, 50(7), 1999-2008.
- Churchland, P. S., y Sejnowski, T. J. (1988). Perspectives on cognitive neuroscience. *Science*, 242(4879), 741-745.
- Cirelli, C., y Tononi, G. (2021). The why and how of sleep-dependent synaptic down-selection. In *Seminars in Cell & Developmental Biology*. Academic Press.
- Clements, D. H., Sarama, J., y Germeroth, C. (2016). Learning executive function and early mathematics: Directions of causal relations. *Early Childhood Research Quarterly*, 36, 79-90.
- Cobb, M. (2002). Exorcizing the animal spirits: Jan Swammerdam on nerve function. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(5), 395-400.
- Coburn, A., Vartanian, O., Kenett, Y. N., Nadal, M., Hartung, F., Hayn-Leichsenring, G., ... y Chatterjee, A. (2020). Psychological and neural responses to architectural interiors. *Cortex*, 126, 217-241.
- Cochrane, A., y Green, C. S. (2021). New directions in training designs. En T. Strobach y J. Karbach (Eds), *Cognitive training: An overview of features and application* (pp. 25-40). Springer.
- Cohen, L., Manion, L., y Morrison, K. (2018). *Research methods in education*. Routledge, Taylor y Francis Group.
- Colom, R. (2020). Intellectual abilities. *Handbook of Clinical Neurology*, 173, 109-120.
- Conway, A. R., Kane, M. J., Bunting, M. F., Hambrick, D. Z., Wilhelm, O., y Engle, R. W. (2005). Working memory span tasks: A methodological review and user's guide. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(5), 769-786.
- Conway, A. R., Kane, M. J., y Engle, R. W. (2003). Working memory capacity and its relation to general intelligence. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(12), 547-552.
- Cook, T. D. y Campbell, D. T. (1979). *Quasi-experimentation: design and analysis issues for field setting*. Houghton-Mifflin. Boston.
- Corsi, P. M. (1973). Human memory and the medial temporal region of the brain. *Dissertation Abstracts International*, 34(2-B), 891.

- Cousins, J. N., Wong, K. F., Raghunath, B. L., Look, C., y Chee, M. W. (2019). The long-term memory benefits of a daytime nap compared with cramming. *Sleep*, 42(1), zsy207.
- Cowan, N. (2010). The magical mystery four: How is working memory capacity limited, and why? *Current Directions in Psychological Science*, 19(1), 51-57.
- Cowan, N. (2014). Working memory underpins cognitive development, learning, and education. *Educational Psychology Review*, 26(2), 197-223.
- Cowan, N. (2016). Working memory maturation: Can we get at the essence of cognitive growth? *Perspectives on Psychological Science*, 11(2), 239-264.
- Cowan, W. M., Harter, D. H., y Kandel, E. R. (2000). The emergence of modern neuroscience: some implications for neurology and psychiatry. *Annual Review of Neuroscience*, 23(1), 343-391.
- Cozby, P. C., y Bates, S. (2012). *Methods in behavioral research*. McGraw-Hill.
- Creswell, J. W., y Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. SAGE Publications, Inc.
- Cristofori, I., Cohen-Zimmerman, S., y Grafman, J. (2019). Executive functions. *Handbook of Clinical Neurology*, 163, 197-219.
- Cruickshank, W. M. (1981). A new perspective in teacher education: The neuroeducator. *Journal of Learning Disabilities*, 14(6), 337-341.
- Dadvand, P., Nieuwenhuijsen, M. J., Esnaola, M., Forn, J., Basagaña, X., Alvarez-Pedrerol, M., ... y Sunyer, J. (2015). Green spaces and cognitive development in primary schoolchildren. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(26), 7937-7942.
- Dahlin, K. I. (2011). Effects of working memory training on reading in children with special needs. *Reading and Writing*, 24(4), 479-491.
- Dahlin, E., Neely, A. S., Larsson, A., Backman, L., y Nyberg, L. (2008). Transfer of learning after updating training mediated by the striatum. *Science*, 320(5882), 1510-1512.
- Dale, A. M., y Sereno, M. I. (1993). Improved localization of cortical activity by combining EEG and MEG with MRI cortical surface reconstruction: a linear approach. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5(2), 162-176.
- Damasio, A. (2006). *El error de Descartes: la emoción, la razón y el cerebro humano*. Crítica.
- Damasio, A. (2018). *El extraño orden de las cosas: La vida, los sentimientos y la creación de las culturas*. Destino.
- Darling-Hammond, L., Flook, L., Cook-Harvey, C., Barron, B., y Osher, D. (2020). Implications for educational practice of the science of learning and development. *Applied Developmental Science*, 24(2), 97-140.
- Davidson, M. C., Amso, D., Anderson, L. C., y Diamond, A. (2006). Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia*, 44(11), 2037-2078.

- De la Puente, C. (2018). *Estadística descriptiva e inferencial*. Ediciones IDT.
- De Souza, L. C., Guimarães, H. C., Teixeira, A. L., Caramelli, P., Levy, R., Dubois, B., y Volle, E. (2014). Frontal lobe neurology and the creative mind. *Frontiers in psychology*, 5, 761.
- Dehaene, S. (2005). Evolution of human cortical circuits for reading and arithmetic: The “neuronal recycling” hypothesis. En S. Dehaene, J. R. Duhamel, M. Hauser, G. Rizzolatti (eds.), *From monkey brain to human brain: A Fyssen Foundation symposium* (p. 133-157). MIT Press.
- Dehaene, S. (2009). *Reading in the brain: The new science of how we read*. Penguin Books.
- Dehaene, S. (2011). *The number sense: How the mind creates mathematics*. OUP USA.
- Dehaene S. (2016). *El cerebro matemático: Cómo nacen, viven y a veces mueren los números en nuestra mente*. Siglo Veintiuno.
- Dehaene, S. (2019). *¿Cómo aprendemos?: Los cuatro pilares con los que la educación puede potenciar los talentos de nuestro cerebro*. Siglo XXI Editores.
- Dehaene, S., y Cohen, L. (2007). Cultural recycling of cortical maps. *Neuron*, 56(2), 384-398.
- Dehaene, S., y Cohen, L. (2011). The unique role of the visual word form area in reading. *Trends in cognitive sciences*, 15(6), 254-262.
- Dekker, S., Lee, N. C., Howard-Jones, P., y Jolles, J. (2012). Neuromyths in education: Prevalence and predictors of misconceptions among teachers. *Frontiers in Psychology*, 429.
- Della Chiesa, B., Christoph, V., y Hinton, C. (2009). How many brains does it take to build a new light: Knowledge management challenges of a transdisciplinary project. *Mind, Brain, and Education*, 3(1), 17-26.
- Dewald, J. F., Meijer, A. M., Oort, F. J., Kerkhof, G. A., y Bögels, S. M. (2010). The influence of sleep quality, sleep duration and sleepiness on school performance in children and adolescents: A meta-analytic review. *Sleep Medicine Reviews*, 14(3), 179-189.
- Diamond, A. (1991). Neuropsychological insights into the meaning of object concept development. En S. Carey y R. Gelman (Eds.), *The epigenesis of mind: Essays on biology and cognition* (pp. 67-110). Lawrence Erlbaum Associates.
- Diamond, A. (2007). Interrelated and interdependent. *Developmental science*, 10(1), 152-158.
- Diamond, A. (2010). The evidence base for improving school outcomes by addressing the whole child and by addressing skills and attitudes, not just content. *Early Education and Development*, 21(5), 780-793.
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135-168.
- Diamond, A. (2020). Executive functions. *Handbook of Clinical Neurology*, 163, 225-240.
- Diamond, A., y Amso, D. (2008). Contributions of neuroscience to our understanding of cognitive development. *Current Directions in Psychological Science*, 17(2), 136-141.

- Diamond, A., Barnett, W. S., Thomas, J., y Munro, S. (2007). Preschool program improves cognitive control. *Science*, *318*, 1387–1388.
- Diamond, A., y Doar, B. (1989). The performance of human infants on a measure of frontal cortex function, the delayed response task. *Developmental Psychobiology: The Journal of the International Society for Developmental Psychobiology*, *22*(3), 271-294.
- Diamond, A., y Goldman-Rakic, P. S. (1989). Comparison of human infants and rhesus monkeys on Piaget's AB task: Evidence for dependence on dorsolateral prefrontal cortex. *Experimental Brain Research*, *74*(1), 24-40.
- Diamond, A., y Kirkham, N. (2005). Not quite as grown-up as we like to think: Parallels between cognition in childhood and adulthood. *Psychological Science*, *16*(4), 291-297.
- Diamond, A., y Ling, D. S. (2016). Conclusions about interventions, programs, and approaches for improving executive functions that appear justified and those that, despite much hype, do not. *Developmental Cognitive Neuroscience*, *18*, 34-48.
- Diamond, A, y Ling, D. S. (2020). Review of the evidence on, and fundamental questions about, efforts to improve executive functions, including working memory. En J. Novick, M. F. Bunting, M. R. Dougherty, R. W. Engle (Eds.), *Cognitive and working memory training: perspectives from psychology, neuroscience, and human development* (pp. 143–431). Oxford University Press.
- Dikker, S., Wan, L., Davidesco, I., Kaggen, L., Oostrik, M., McClintock, J., ... y Poeppel, D. (2017). Brain-to-brain synchrony tracks real-world dynamic group interactions in the classroom. *Current Biology*, *27*(9), 1375-1380.
- Dillon, M. R., Kannan, H., Dean, J. T., Spelke, E. S., y Duflo, E. (2017). Cognitive science in the field: A preschool intervention durably enhances intuitive but not formal mathematics. *Science*, *357*(6346), 47-55.
- Dillon, W. P. (2021). 50th anniversary of computed tomography: past and future applications in clinical neuroscience. *Journal of Medical Imaging*, *8*(5), 052112.
- Doebel, S. (2020). Rethinking executive function and its development. *Perspectives on Psychological Science*, *15*(4), 942-956.
- Doebel, S., Barker, J. E., Chevalier, N., Michaelson, L. E., Fisher, A. V., y Munakata, Y. (2017). Getting ready to use control: Advances in the measurement of young children's use of proactive control. *PLOS ONE*, *12*(4), e0175072.
- Dore, R. A., Smith, E. D., y Lillard, A. S. (2015). How is theory of mind useful? Perhaps to enable social pretend play. *Frontiers in Psychology*, 1559.
- Dougherty, M. R., y Robey, A. (2018). Neuroscience and education: A bridge astray? *Current Directions in Psychological Science*, *27*(6), 401-406.
- Drost, E. A. (2011). Validity and reliability in social science research. *Education Research and Perspectives*, *38*(1), 105-123.

- Dum, R. P., Levinthal, D. J., y Strick, P. L. (2019). The mind–body problem: Circuits that link the cerebral cortex to the adrenal medulla. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *116*(52), 26321-26328.
- Dunlosky, J., Rawson, K. A., Marsh, E. J., Nathan, M. J., y Willingham, D. T. (2013). Improving students' learning with effective learning techniques: Promising directions from cognitive and educational psychology. *Psychological Science in the Public Interest*, *14*(1), 4-58.
- Dunning, D. L., Griffiths, K., Kuyken, W., Crane, C., Foulkes, L., Parker, J., y Dalgleish, T. (2019). Research Review: The effects of mindfulness-based interventions on cognition and mental health in children and adolescents—a meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *60*(3), 244-258.
- Durlak, J. A., Weissberg, R. P., Dymnicki, A. B., Taylor, R. D., y Schellinger, K. B. (2011). The impact of enhancing students' social and emotional learning: A meta-analysis of school-based universal interventions. *Child Development*, *82*(1), 405-432.
- Ekman, R., Fletcher, A., Giota, J., Eriksson, A., Thomas, B., y Bååthe, F. (2022). A flourishing brain in the 21st century: A scoping review of the impact of developing good habits for mind, brain, well-being, and learning. *Mind, Brain, and Education*, *16*(1), 13-23.
- Ellamil, M., Dobson, C., Beeman, M., y Christoff, K. (2012). Evaluative and generative modes of thought during the creative process. *Neuroimage*, *59*(2), 1783-1794.
- Engle, R. W. (2002). Working memory capacity as executive attention. *Current Directions in Psychological Science*, *11*(1), 19-23.
- Eriksen, B. A., y Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, *16*(1), 143-149.
- Erk, S., Kiefer, M., Grothe, J., Wunderlich, A. P., Spitzer, M., y Walter, H. (2003). Emotional context modulates subsequent memory effect. *Neuroimage*, *18*(2), 439-447.
- Escera, C. (2004). Aproximación histórica y conceptual a la Neurociencia Cognitiva. *Cognitiva*, *16*(2), 141-61.
- Evans, G. W., Farah, M. J., y Hackman, D. A. (2021). Early childhood poverty and adult executive functioning: Distinct, mediating pathways for different domains of executive functioning. *Developmental Science*, *24*(5), e13084.
- Fan, J., McCandliss, B. D., Sommer, T., Raz, A., y Posner, M. I. (2002). Testing the efficiency and independence of attentional networks. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *14*(3), 340-347.
- Farah, M. J. (2017). The neuroscience of socioeconomic status: correlates, causes, and consequences. *Neuron*, *96*(1), 56-71.
- Fazio, L. K., y Marsh, E. J. (2019). Retrieval-based learning in children. *Current Directions in Psychological Science*, *28*(2), 111-116.

- Feigenson, L., y Halberda, J. (2008). Conceptual knowledge increases infants' memory capacity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(29), 9926-9930.
- Ferguson, H. J., Brunson, V. E., y Bradford, E. E. (2021). The developmental trajectories of executive function from adolescence to old age. *Scientific Reports*, 11(1), 1-17.
- Ferrero, M., Garaizar, P., y Vadillo, M. A. (2016). Neuromyths in education: Prevalence among Spanish teachers and an exploration of cross-cultural variation. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10 (496).
- Fischer, K. W. (2008). Dynamic cycles of cognitive and brain development: Measuring growth in mind, brain, and education. En A.M. Battro, K. F. Fischer, y P. J. Léna (Eds), *The educated brain* (pp.127-150). Cambridge University Press
- Follmer, D. J. (2018). Executive function and reading comprehension: A meta-analytic review. *Educational Psychologist*, 53(1), 42-60.
- Forés, A. y Ligoiz, M. (2009). *Descubrir la neurodidáctica: aprender desde, en y para la vida*. Editorial UOC.
- Forés, A., Gamo, J. R., Guillén, J. C., Hernández, T., Ligoiz, M., Pardo, F., y Trinidad, C. (2015). *Neuromitos en educación. El aprendizaje desde la neurociencia*. Plataforma Editorial.
- Foroughi, C. K., Monfort, S. S., Paczynski, M., McKnight, P. E., y Greenwood, P. M. (2016). Placebo effects in cognitive training. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(27), 7470-7474.
- Forsberg, A., Adams, E. J., y Cowan, N. (2021). The role of working memory in long-term learning: Implications for childhood development. En K. D. Federmeier (Ed.), *Psychology of learning and motivation* (pp. 1-45). Academic Press.
- Foster, J. L., Shipstead, Z., Harrison, T. L., Hicks, K. L., Redick, T. S., y Engle, R. W. (2015). Shortened complex span tasks can reliably measure working memory capacity. *Memory & Cognition*, 43(2), 226-236.
- Foy, J. G., y Mann, V. A. (2014). Adaptive cognitive training enhances executive control and visuospatial and verbal working memory in beginning readers. *International Education Research*, 2(2), 19-43.
- Frey, B. B. (Ed.). (2018). *The SAGE encyclopedia of educational research, measurement, and evaluation*. Sage Publications.
- Friedman, N. P., y Miyake, A. (2004). The relations among inhibition and interference control functions: a latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133(1), 101.
- Fuller, J. K., y Glendening, J. G. (1985). The neuroeducator: professional of the future. *Theory into Practice*, 24(2), 135-137.
- Fuster, J. M. (2000). The module: crisis of a paradigm. *Neuron*, 26(1), 51-53.
- Fuster, J. M. (2015). *The prefrontal cortex*. Academic Press.

- Fuster, J. M. (2020). El telar mágico de la mente. *Ariel*.
- Fuster, J. M. (2021). Cognitive networks (Cognits) process and maintain working memory. *Frontiers in Neural Circuits*, 15.
- Gabard-Durnam, L. J., Flannery, J., Goff, B., Gee, D. G., Humphreys, K. L., Telzer, E., ... y Tottenham, N. (2014). The development of human amygdala functional connectivity at rest from 4 to 23 years: a cross-sectional study. *Neuroimage*, 95, 193-207.
- Gabrieli, J. (2016). The promise of educational neuroscience: Comment on Bowers (2016). *Psychological Review*, 123, 613–619.
- Gandolfi, E., Viterbori, P., Traverso, L., & Usai, M. C. (2014). Inhibitory processes in toddlers: a latent-variable approach. *Frontiers in Psychology*, 5, 381.
- Gardner, H. (2011). *Frames of mind: The theory of multiple intelligences*. Basic Books.
- Garon, N., Bryson, S. E., y Smith, I. M. (2008). Executive function in preschoolers: a review using an integrative framework. *Psychological Bulletin*, 134(1), 31–60.
- Gathercole, S. E., Dunning, D. L., Holmes, J., y Norris, D. (2019). Working memory training involves learning new skills. *Journal of Memory and Language*, 105, 19-42.
- Gathercole, S. E., Lamont, E. M. I. L. Y., y Alloway, T. P. (2006). Working memory in the classroom. En S. J. Pickering (Ed.), *Working memory and education* (pp. 219-240). Academic Press.
- Gazzaley, A., y Nobre, A. C. (2012). Top-down modulation: bridging selective attention and working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(2), 129-135.
- Gazzaniga, M. S. (Ed.). (1984). *Handbook of cognitive neuroscience*. Springer.
- Gerardi-Caulton, G. (2000). Sensitivity to spatial conflict and the development of self-regulation in children 24–36 months of age. *Developmental Science*, 3(4), 397-404.
- Gerstadt, C. L., Hong, Y. J., y Diamond, A. (1994). The relationship between cognition and action: performance of children 3 1/2–7 years old on a stroop-like day-night test. *Cognition*, 53(2), 129-153.
- Giedd, J. N., Blumenthal, J., Jeffries, N. O., Castellanos, F. X., Liu, H., Zijdenbos, A., ... y Rapoport, J. L. (1999). Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study. *Nature Neuroscience*, 2(10), 861-863.
- Giedd, J. N., Raznahan, A., Alexander-Bloch, A., Schmitt, E., Gogtay, N., y Rapoport, J. L. (2015). Child psychiatry branch of the National Institute of Mental Health longitudinal structural magnetic resonance imaging study of human brain development. *Neuropsychopharmacology*, 40(1), 43-49.
- Gil, J. (2003). La estadística en la investigación educativa. *Revista de Investigación Educativa*, 21(1), 231-248.
- Gioia, G. A., Espy, K. A., y Isquith, P.K. (2003). *Behavior Rating Inventory of Executive Function - Preschool Version*. Psychological Assessment Resources.

- Gioia, G.A., Isquith, P.K., Guy, S.C., y Kenworthy, L. (2000). Behavior Rating Inventory of Executive Function. *Child Neuropsychology*, 6(3), 235-238.
- Giovannetti, F., Pietto, M. L., Segretín, M. S., y Lipina, S. J. (2020). Impact of an individualized cognitive training intervention in preschoolers from poor homes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(8), 2912.
- Giovannetti, F., Pietto, M. L., Segretin, M. S., y Lipina, S. J. (2022). Impact of an individualized and adaptive cognitive intervention on working memory, planning and fluid reasoning processing in preschoolers from poor homes. *Child Neuropsychology*, 28(5), 597-626.
- Gleichgerricht, E., Lira Luttges, B., Salvarezza, F., y Campos, A. L. (2015). Educational neuromyths among teachers in Latin America. *Mind, Brain, and Education*, 9(3), 170-178.
- Glenberg, A. M. (2011). How reading comprehension is embodied and why that matters. *International Electronic Journal of Elementary Education*, 4(1), 5-18.
- Godwin, K. E., Leroux, A. J., Scupelli, P., y Fisher, A. V. (2022). Classroom design and children's attention allocation: beyond the laboratory and into the classroom. *Mind, Brain, and Education*, 16(3), 239-251.
- Gogtay, N., Giedd, J. N., Lusk, L., Hayashi, K. M., Greenstein, D., Vaituzis, A. C., ... y Thompson, P. M. (2004). Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(21), 8174-8179.
- Goldin, A. (2022). *Neurociencia en la escuela: Guía amigable (sin bla bla) para entender cómo funciona el cerebro durante el aprendizaje*. Siglo XXI Editores.
- Goldin, A. P., Hermida, M. J., Shalom, D. E., Costa, M. E., Lopez-Rosenfeld, M., Segretin, M. S., ... y Sigman, M. (2014). Far transfer to language and math of a short software-based gaming intervention. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(17), 6443-6448.
- Goldin, A. P., y López-Rosenfeld, M. (2017). Estimulación de procesos cognitivos en poblaciones infantiles. Incorporación de conocimiento neurocientífico para el desarrollo de contenido en plataformas digitales. En S. J. Lipina, M. Sigman y D. Fernández Slezak (Eds.), *Pensar las TIC desde la ciencia cognitiva y la neurociencia* (pp. 121-146). Gedisa.
- Goldin-Meadow, S. (2017). Using our hands to change our minds. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 8(1-2), e1368.
- Gómez-Pinilla, F. (2008). Brain foods: the effects of nutrients on brain function. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(7), 568-578.
- Gómez-Pinilla, F. (2022). Editorial to Special Issue of BBADIS: Brain-gut Interaction and Cognitive Control. *Biochimica et Biophysica acta. Molecular Basis of Disease*, 166396-166396.

- Gómez-Pinilla, F., Vaynman, S., y Ying, Z. (2008). Brain-derived neurotrophic factor functions as a metabotrophin to mediate the effects of exercise on cognition. *European Journal of Neuroscience*, 28(11), 2278-2287.
- Gomez-Pinilla, F., y Tyagi, E. (2013). Diet and cognition: interplay between cell metabolism and neuronal plasticity. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 16(6), 726.
- Gonzales, C. R., Bowles, R., Geldhof, G. J., Cameron, C. E., Tracy, A., y McClelland, M. M. (2021). The Head-Toes-Knees-Shoulders Revised (HTKS-R): Development and psychometric properties of a revision to reduce floor effects. *Early Childhood Research Quarterly*, 56, 320-332.
- Gopnik, A., y Tenenbaum, J. B. (2007). Bayesian networks, Bayesian learning and cognitive development. *Developmental Science*, 10(3), 281-287.
- Gorard, S., See, B. H., y Siddiqui, N. (2020). What is the evidence on the best way to get evidence into use in education? *Review of Education*, 8(2), 570-610.
- Goswami, U. (2019). *Cognitive development and cognitive neuroscience: The learning brain*. Routledge.
- Gottlieb, G. (2007). Probabilistic epigenesis. *Developmental Science*, 10(1), 1-11.
- Graham, J. D., Bremer, E., Fenesi, B., y Cairney, J. (2021). Examining the acute effects of classroom-based physical activity breaks on executive functioning in 11-to 14-year-old children: single and additive moderation effects of physical fitness. *Frontiers in Pediatrics*, 789.
- Grammaticos, P. C., y Diamantis, A. (2008). Useful known and unknown views of the father of modern medicine, Hippocrates and his teacher Democritus. *Hellenic Journal of Nuclear Medicine*, 11(1), 2-4.
- Grant, D. A., y Berg, E. A. (1948). A behavioral analysis of degree of reinforcement and ease of shifting to new responses in a Weigl - type card - sorting problem. *Journal of Experimental Psychology*, 38, 404-411.
- Green, S. C., Bavelier, D., Kramer, A. F., Vinogradov, S., Ansorge, U., Ball, K. K., ... y Witt, C. M. (2019). Improving methodological standards in behavioral interventions for cognitive enhancement. *Journal of Cognitive Enhancement*, 3(1), 2-29.
- Grospietsch, F., y Lins, I. (2021). Review on the prevalence and persistence of neuromyths in education—where we stand and what is still needed. *Frontiers in Education*, 6 (665752).
- Guillén, J. C. (2015). Y ¿si Piaget se equivocara con las matemáticas? En A. Forés, J. R. Gamo, J. C. Guillén, T. Hernández, M. Ligoiz, C. Trinidad y F. Pardo, *Neuromitos en educación: el aprendizaje desde la neurociencia* (pp. 73-93). Plataforma Editorial.
- Guillén, J. C. (2017). *Neuroeducación en el aula: De la teoría a la práctica*. CreateSpace.

- Guye, S., De Simoni, C., y von Bastian, C. C. (2017). Do individual differences predict change in cognitive training performance? A latent growth curve modeling approach. *Journal of Cognitive Enhancement*, 1(4), 374-393.
- Haartsen, R., Jones, E. J., y Johnson, M. H. (2016). Human brain development over the early years. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 10, 149-154.
- Hackman, D. A., Gallop, R., Evans, G. W., y Farah, M. J. (2015). Socioeconomic status and executive function: Developmental trajectories and mediation. *Developmental Science*, 18(5), 686-702.
- Han, H., Soylu, F., y Anchan, D. M. (2019). Connecting levels of analysis in educational neuroscience: a review of multi-level structure of educational neuroscience with concrete examples. *Trends in Neuroscience and Education*, 17, 100113.
- Happaney, K., y Zelazo, P. D. (2022). 19 Development of executive function skills in childhood. *The Cambridge Handbook of Cognitive Development*, 427.
- Hardman, R. J., Kennedy, G., Macpherson, H., Scholey, A. B., y Pipingas, A. (2016). Adherence to a Mediterranean-style diet and effects on cognition in adults: a qualitative evaluation and systematic review of longitudinal and prospective trials. *Frontiers in Nutrition*, 22.
- Hart, L. (1983) *Human brain and human learning*. Longman Publishing Group.
- Hattie, J. (2008). *Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. Routledge.
- Hattie, J. (2012). *Visible learning for teachers: Maximizing impact on learning*. Routledge.
- Hattie, J. (2015). The applicability of visible learning to higher education. *Scholarship of Teaching and Learning in Psychology*, 1(1), 79.
- Hattie, J. A., y Donoghue, G. M. (2016). Learning strategies: A synthesis and conceptual model. *npj Science of Learning*, 1(1), 1-13.
- Heaton, R. K., Chelune, G. J., Talley, J. L., Kay, G. G., y Curtiss, G. (1993). *Wisconsin Card Sorting Test (WCST): manual: revised and expanded*. Psychological Assessment Resources.
- Heckman, J., Pinto, R., y Savelyev, P. (2013). Understanding the mechanisms through which an influential early childhood program boosted adult outcomes. *American Economic Review*, 103(6), 2052-2086.
- Hermida, M. J., Shalom, D. E., Segretin, M. S., Goldin, A. P., Abril, M. C., Lipina, S. J., y Sigman, M. (2019). Risks for child cognitive development in rural contexts. *Frontiers in Psychology*, 9, 2735.
- Hernández-Sampieri, R., y Mendoza, C., P. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw Hill México.
- Hillman, C. H., Erickson, K. I., y Kramer, A. F. (2008). Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(1), 58-65.

- Hirsh-Pasek, K., Golinkoff, R. M., Berk, L. E., y Singer, D. (2009). *A mandate for playful learning in preschool: Applying the scientific evidence*. Oxford University Press.
- Hirsh-Pasek, K., Golinkoff, R. M., y Eyer, D. (2004). *Einstein never used flash cards: How our children really learn--and why they need to play more and memorize less*. Rodale Books.
- Hirsh-Pasek, K., Zosh, J. M., Golinkoff, R. M., Gray, J. H., Robb, M. B., y Kaufman, J. (2015). Putting education in “educational” apps: Lessons from the science of learning. *Psychological Science in the Public Interest*, 16(1), 3-34.
- Hjetland, H. N., Lervåg, A., Lyster, S. A. H., Hagtvet, B. E., Hulme, C., y Melby-Lervåg, M. (2019). Pathways to reading comprehension: A longitudinal study from 4 to 9 years of age. *Journal of Educational Psychology*, 111(5), 751.
- Holmes, J., Gathercole, S. E., y Dunning, D. L. (2009). Adaptive training leads to sustained enhancement of poor working memory in children. *Developmental Science*, 12(4), F9-F15.
- Howard, S. J., Vasseleu, E., Batterham, M., y Neilsen-Hewett, C. (2020). Everyday practices and activities to improve pre-school self-regulation: cluster RCT evaluation of the PRSIST program. *Frontiers in Psychology*, 11, 137.
- Howard-Jones, P. (2011). *Investigación neuroeducativa. Neurociencia, educación y cerebro: de los contextos a la práctica*. La Muralla.
- Howard-Jones, P. A. (2014a). Neuroscience and education: myths and messages. *Nature Reviews Neuroscience*, 15(12), 817-824.
- Howard-Jones, P. (2014b). *Neuroscience and education: A review of educational interventions and approaches informed by neuroscience*. Education Endowment Foundation.
- Howard-Jones, P. A., Varma, S., Ansari, D., Butterworth, B., De Smedt, B., Goswami, U., Laurillard, D., y Thomas, M. S. C. (2016). The principles and practices of educational neuroscience: Comment on Bowers (2016). *Psychological Review*, 123(5), 620–627.
- Howard-Jones, P. A., y Fenton, K. D. (2012). The need for interdisciplinary dialogue in developing ethical approaches to neuroeducational research. *Neuroethics*, 5(2), 119-134.
- Hughes, C. (2011). Changes and challenges in 20 years of research into the development of executive functions. *Infant and Child Development*, 20(3), 251-271.
- Humeau, Y., y Choquet, D. (2019). The next generation of approaches to investigate the link between synaptic plasticity and learning. *Nature Neuroscience*, 22(10), 1536-1543.
- Humes, G. E., Welsh, M. C., Retzlaff, P., y Cookson, N. (1997). Towers of Hanoi and London: Reliability and validity of two executive function tasks. *Assessment*, 4(3), 249-257.
- Hutchison, J. E., Lyons, I. M., y Ansari, D. (2019). More similar than different: Gender differences in children's basic numerical skills are the exception not the rule. *Child Development*, 90(1), e66-e79.

- Hutton, J. S., Dudley, J., Horowitz-Kraus, T., DeWitt, T., y Holland, S. K. (2020). Associations between home literacy environment, brain white matter integrity and cognitive abilities in preschool-age children. *Acta Paediatrica*, *109*(7), 1376-1386.
- Hyde, K. F. (2000). Recognising deductive processes in qualitative research. *Qualitative Market Research*, *3*(2), 82-89.
- Immordino-Yang, M. H. (2015). *Emotions, learning, and the brain: Exploring the educational implications of affective neuroscience (the Norton series on the social neuroscience of education)*. WW Norton & Company.
- Immordino-Yang, M. H., y Damasio, A. (2007). We feel, therefore we learn: The relevance of affective and social neuroscience to education. *Mind, Brain, and Education*, *1*(1), 3-10.
- Immordino-Yang, M. H., Darling-Hammond, L., y Krone, C. R. (2019). Nurturing nature: How brain development is inherently social and emotional, and what this means for education. *Educational Psychologist*, *54*(3), 185-204.
- Izquierdo, A., Brigman, J. L., Radke, A. K., Rudebeck, P. H., y Holmes, A. (2017). The neural basis of reversal learning: an updated perspective. *Neuroscience*, *345*, 12-26.
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J., y Perrig, W. J. (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *105*(19), 6829-6833.
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Shah, P., y Jonides, J. (2014). The role of individual differences in cognitive training and transfer. *Memory & Cognition*, *42*(3), 464-480.
- Jarrold, C., y Towse, J. N. (2006). Individual differences in working memory. *Neuroscience*, *139*(1), 39-50.
- Jensen, E. (1998). *Teaching with the brain in mind*. ASCD.
- Johann, V. E., y Karbach, J. (2020). Effects of game-based and standard executive control training on cognitive and academic abilities in elementary school children. *Developmental Science*, *23*(4), e12866.
- Johnsen, S. K. (2017). Test of nonverbal intelligence: A language-free measure of cognitive ability. En R. S. McCallum (Ed.), *Handbook of nonverbal assessment* (pp. 185-206). Springer.
- Johnson, S. B., Blum, R. W., y Giedd, J. N. (2009). Adolescent maturity and the brain: the promise and pitfalls of neuroscience research in adolescent health policy. *Journal of Adolescent Health*, *45*(3), 216-221.
- Johnson, S. B., Riis, J. L., y Noble, K. G. (2016). State of the art review: poverty and the developing brain. *Pediatrics*, *137*(4).
- Jolles, D. D., y Crone, E. A. (2012). Training the developing brain: a neurocognitive perspective. *Frontiers in Human Neuroscience*, *6*, 76.

- Jolles, J., y Jolles, D. D. (2021). On neuroeducation: why and how to improve neuroscientific literacy in educational professionals. *Frontiers in Psychology*, 5506.
- Jones, E. G., y Mendell, L. M. (1999). Assessing the decade of the brain. *Science*, 284, 739.
- Kandel, E. R. (2007). *En busca de la memoria: el nacimiento de una nueva ciencia de la mente*. Katz Editores.
- Kandel, E. R. (2019). *La nueva biología de la mente: qué nos dicen los trastornos cerebrales sobre nosotros mismos*. Paidós.
- Kandel, E. R., y Squire, L. R. (2000). Neuroscience: Breaking down scientific barriers to the study of brain and mind. *Science*, 290(5494), 1113-1120.
- Kane, M. J., Conway, A. R. A., Hambrick, D. Z., y Engle, R. W. (2007). Variation in working memory capacity as variation in executive attention and control. En A. R. A. Conway, C. Jarrold, M. J. Kane, A. Miyake y J. N. Towse (Eds.), *Variation in working memory* (pp. 21–46). Oxford University Press.
- Kane, M. J., y 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.
- Karbach, J., Könen, T., y Spengler, M. (2017). Who benefits the most? Individual differences in the transfer of executive control training across the lifespan. *Journal of Cognitive Enhancement*, 1(4), 394-405.
- Karbach, J., y Kray, J. (2009). How useful is executive control training? Age differences in near and far transfer of task-switching training. *Developmental Science*, 12(6), 978-990.
- Karbach, J., Strobach, T., y Schubert, T. (2015). Adaptive working-memory training benefits reading, but not mathematics in middle childhood. *Child Neuropsychology*, 21(3), 285-301.
- Karbach, J., y Verhaeghen, P. (2014). Making working memory work: a meta-analysis of executive-control and working memory training in older adults. *Psychological Science*, 25(11), 2027-2037.
- Karpicke, J. D. (2017). Retrieval-based learning: A decade of progress. En J. H. Byrne (Ed.), *Cognitive psychology of memory, Vol. 2 of Learning and memory: A comprehensive reference* (pp. 1-26). Elsevier.
- Kassai, R., Futo, J., Demetrovics, Z., y Takacs, Z. K. (2019). A meta-analysis of the experimental evidence on the near- and far-transfer effects among children's executive function skills. *Psychological Bulletin*, 145(2), 165–188.
- Katz, B., Jones, M. R., Shah, P., Buschkuhl, M., y Jaeggi, S. M. (2021). Individual differences and motivational effects. En T. Strobach y J. Karbach (Eds.), *Cognitive Training* (pp. 107-123). Springer International Publishing.

- Katz, B., Shah, P., & Meyer, D. E. (2018). How to play 20 questions with nature and lose: Reflections on 100 years of brain-training research. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *115*(40), 9897-9904.
- Kennedy, M. R., Coelho, C., Turkstra, L., Ylvisaker, M., Moore, M., Yorkston, K., ... y Kan, P. F. (2008). Intervention for executive functions after traumatic brain injury: A systematic review, meta-analysis and clinical recommendations. *Neuropsychological Rehabilitation*, *18*(3), 257-299.
- Keulers, E. H., y Jonkman, L. M. (2019). Mind wandering in children: Examining task-unrelated thoughts in computerized tasks and a classroom lesson, and the association with different executive functions. *Journal of Experimental Child Psychology*, *179*, 276-290.
- Kim, S., Nordling, J. K., Yoon, J. E., Boldt, L. J., y Kochanska, G. (2013). Effortful control in “hot” and “cool” tasks differentially predicts children’s behavior problems and academic performance. *Journal of Abnormal Child Psychology*, *41*(1), 43-56.
- Klingberg, T., Fernell, E., Olesen, P. J., Johnson, M., Gustafsson, P., Dahlström, K., ... y Westerberg, H. (2005). Computerized training of working memory in children with ADHD-a randomized, controlled trial. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, *44*(2), 177-186.
- Klinzing, J. G., Niethard, N., y Born, J. (2019). Mechanisms of systems memory consolidation during sleep. *Nature Neuroscience*, *22*(10), 1598-1610.
- Knowland, V. (2020). Educational neuroscience: Ethical perspectives. En M. S. C. Thomas, D. Mareschal, y I. Dumontheil, *Educational Neuroscience: Development across the life span* (pp. 474-499). Routledge.
- Knox, R. (2016). Mind, brain, and education: A transdisciplinary field. *Mind, Brain, and Education*, *10*(1), 4-9.
- Koizumi, H. (2004). The concept of ‘developing the brain’: a new natural science for learning and education. *Brain and Development*, *26*(7), 434-441.
- Kontra, C., Lyons, D. J., Fischer, S. M., y Beilock, S. L. (2015). Physical experience enhances science learning. *Psychological Science*, *26*(6), 737-749.
- Kornmeier, J., Susic-Vasic, Z., y Joos, E. (2022). Spacing learning units affects both learning and forgetting. *Trends in Neuroscience and Education*, 100173.
- Kounios, J., y Beeman, M. (2009). The Aha! moment: The cognitive neuroscience of insight. *Current Directions in Psychological Science*, *18*(4), 210-216.
- Kounios, J., y Beeman, M. (2014). The cognitive neuroscience of insight. *Annual Review of Psychology*, *65*, 71-93.
- Kounios, J., y Beeman, M. (2015). *The Eureka factor: Creative insights and the brain*. Random House.

- Krause, A. J., Vallat, R., Simon, E. B., y Walker, M. P. (2021). Sleep loss impacts the interconnected brain-body-mood regulation of cardiovascular function in humans. *bioRxiv*.
- Kray, J., Karbach, J., Haenig, S., y Freitag, C. (2012). Can task-switching training enhance executive control functioning in children with attention deficit/-hyperactivity disorder? *Frontiers in Human Neuroscience*, 5, 180.
- Kraybill, J. H., y Bell, M. A. (2013). Infancy predictors of preschool and post-kindergarten executive function. *Developmental Psychobiology*, 55(5), 530-538.
- Kuhn, J. T., y Holling, H. (2014). Number sense or working memory? The effect of two computer-based trainings on mathematical skills in elementary school. *Advances in Cognitive Psychology*, 10(2), 59.
- Kuhn, T. S. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica.
- Kurohara, G., y Ogawa, K. (2021). Effect of positive emotions on perceptual processing of visual probes. *NeuroReport*, 33(2), 55-60.
- LaBar, K. S., y Cabeza, R. (2006). Cognitive neuroscience of emotional memory. *Nature Reviews Neuroscience*, 7(1), 54-64.
- Lalancette, H., y Campbell, S. R. (2012). Educational neuroscience: Neuroethical considerations. *International Journal of Environmental and Science Education*, 7(1), 37-52.
- Lassiter, K. S., Harrison, T. K., Matthews, T. D., y Bell, N. L. (2001). The validity of the Comprehensive Test of Nonverbal Intelligence as a measure of fluid intelligence. *Assessment*, 8(1), 95-103.
- Lawson, G. M., Hook, C. J., y Farah, M. J. (2018). A meta-analysis of the relationship between socioeconomic status and executive function performance among children. *Developmental Science*, 21(2), e12529.
- Leach, M. O. (2004). Nobel prize in physiology or medicine 2003 awarded to Paul Lauterbur and Peter Mansfield for discoveries concerning magnetic resonance imaging. *Physics in Medicine & Biology*, 49(3), E01.
- Lemire-Rodger, S., Lam, J., Viviano, J. D., Stevens, W. D., Spreng, R. N., y Turner, G. R. (2019). Inhibit, switch, and update: A within-subject fMRI investigation of executive control. *Neuropsychologia*, 132, 107134.
- Lenroot, R. K., y Giedd, J. N. (2006). Brain development in children and adolescents: insights from anatomical magnetic resonance imaging. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 30(6), 718-729.
- Levene, H. (1960). Robust tests for the equality of variances. En J. Olkin (Ed.), *Contributions to probability and statistics* (pp. 278-292). Stanford University Press.

- Lima, C. S., Souza Marques, B., Ferreira Carvalho, C., Siquara, G. M., Bezerra, M. L. O., Duarte, T. S., ... y Abreu, N. (2020). Visuospatial working memory: A socioeconomic normative reference of the Corsi Block-Tapping Task for children aged 7 to 12 years old in Brazil. *Psychology & Neuroscience*, 13(4), 503.
- Lipina, S. J., Martelli, M. I., Vuelta, B., y Colombo, J. A. (2005). Performance on the A-not-B task of Argentinean infants from unsatisfied and satisfied basic needs homes. *Interamerican Journal of Psychology*, 39(1), 49-60.
- Lopes da Silva, F. (2013). EEG and MEG: relevance to neuroscience. *Neuron*, 80(5), 1112-1128.
- López, E. (2009). Evaluación del efecto de variables críticas en el aprendizaje de los escolares. *Estudios sobre Educación*, 16, 55-78.
- López-Muñoz, F., y Álamo, C. (2009). Historical evolution of the neurotransmission concept. *Journal of Neural Transmission*, 116(5), 515-533.
- Loui, P. (2018). Rapid and flexible creativity in musical improvisation: review and a model. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1423(1), 138-145.
- Lövdén, M., Brehmer, Y., Li, S. C., y Lindenberger, U. (2012). Training-induced compensation versus magnification of individual differences in memory performance. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 141.
- Lu, C. H., y Proctor, R. W. (1995). The influence of irrelevant location information on performance: A review of the Simon and spatial Stroop effects. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2(2), 174-207.
- Luria, A. R. (1974). *El cerebro en acción*. Fontanella.
- Luria, A. R. (2012). *Higher cortical functions in man*. Springer Science & Business Media.
- Macdonald, K., Germine, L., Anderson, A., Christodoulou, J., y McGrath, L. M. (2017). Dispelling the myth: Training in education or neuroscience decreases but does not eliminate beliefs in neuromyths. *Frontiers in Psychology*, 8, 1314.
- Macedonia, M., y Mueller, K. (2016). Exploring the neural representation of novel words learned through enactment in a word recognition task. *Frontiers in Psychology*, 7, 953.
- MacLeod, C. M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: an integrative review. *Psychological Bulletin*, 109(2), 163.
- Mareschal, D., Butterworth, B., y Tolmie, A. (Eds.). (2013). *Educational neuroscience*. John Wiley & Sons.
- Martínez, R., Hernández, M. V. y Hernández, M. J. (2014). *Psicometría*. Alianza Editorial.
- Masten, C. L., Eisenberger, N. I., Borofsky, L. A., Pfeifer, J. H., McNealy, K., Mazziotta, J. C., y Dapretto, M. (2009). Neural correlates of social exclusion during adolescence: understanding the distress of peer rejection. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 4(2), 143-157.

- Mayer, R. E. (2003). E. L. Thorndike's enduring contributions to educational psychology. En J. Zimmerman y D. H. Schunk (Eds.), *Educational Psychology: a century of contributions* (pp. 113–154). American Psychological Association.
- Mayer, R. E. (2017). How can brain research inform academic learning and instruction? *Educational Psychology Review*, 29(4), 835-846.
- McCabe, D. P., Roediger III, H. L., McDaniel, M. A., Balota, D. A., y Hambrick, D. Z. (2010). The relationship between working memory capacity and executive functioning: evidence for a common executive attention construct. *Neuropsychology*, 24(2), 222-243.
- McCarney, R., Warner, J., Iliffe, S., Van Haselen, R., Griffin, M., y Fisher, P. (2007). The Hawthorne Effect: a randomised, controlled trial. *BMC Medical Research Methodology*, 7(1), 1-8.
- McClelland, M. M., y Cameron, C. E. (2012). Self-regulation in early childhood: Improving conceptual clarity and developing ecologically valid measures. *Child Development Perspectives*, 6(2), 136-142.
- McClelland, M. M., Cameron, C. E., Duncan, R., Bowles, R. P., Acock, A. C., Miao, A., y Pratt, M. E. (2014). Predictors of early growth in academic achievement: The head-toes-knees-shoulders task. *Frontiers in Psychology*, 5, 599.
- McClelland, M. M., Tominey, S. L., Schmitt, S. A., Hatfield, B. E., Purpura, D. J., Gonzales, C. R., y Tracy, A. N. (2019). Red light, purple light! Results of an intervention to promote school readiness for children from low-income backgrounds. *Frontiers in Psychology*, 10, 2365.
- McDermott, J. M., Westerlund, A., Zeanah, C. H., Nelson, C. A., y Fox, N. A. (2012). Early adversity and neural correlates of executive function: Implications for academic adjustment. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 2, S59-S66.
- Melby-Lervåg, M., Redick, T. S., y Hulme, C. (2016). Working memory training does not improve performance on measures of intelligence or other measures of “far transfer” evidence from a meta-analytic review. *Perspectives on Psychological Science*, 11(4), 512-534.
- Meltzoff, A. N., Kuhl, P. K., Movellan, J., y Sejnowski, T. J. (2009). Foundations for a new science of learning. *Science*, 325(5938), 284-288.
- Meltzoff, A. N., y Moore, M. K. (1977). Imitation of facial and manual gestures by human neonates. *Science*, 198(4312), 75-78.
- Meltzoff, A. N., y Moore, M. K. (1983). Newborn infants imitate adult facial gestures. *Child Development*, 702-709.
- Merkley, R., y Ansari, D. (2016). Why numerical symbols count in the development of mathematical skills: Evidence from brain and behavior. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 10, 14-20.

- Mertens, D. M. (2019). *Research and evaluation in education and psychology: Integrating diversity with quantitative, qualitative, and mixed methods*. Sage publications.
- Mezzacappa, E. (2004). Alerting, orienting, and executive attention: Developmental properties and sociodemographic correlates in an epidemiological sample of young, urban children. *Child development*, 75(5), 1373-1386.
- Miller, D. C., y Maricle, D. E. (2022). Recent advances in neuroscience relevant to school neuropsychology. En D. Miller, D. Maricle, C. Bedford, y J. Gettman (Eds.), *Best practices in school neuropsychology* (pp. 121-131). Wiley.
- Miller, E. K., y Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, 24(1), 167-202.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), 81.
- Millett, D. (2001). Hans Berger: From psychic energy to the EEG. *Perspectives in Biology and Medicine*, 44(4), 522-542.
- Mills, K. L., Goddings, A. L., Clasen, L. S., Giedd, J. N., y Blakemore, S. J. (2014). The developmental mismatch in structural brain maturation during adolescence. *Developmental Neuroscience*, 36(3-4), 147-160.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., y 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.
- Moffitt, T. E., Arseneault, L., Belsky, D., Dickson, N., Hancox, R. J., Harrington, H., ... y Caspi, A. (2011). A gradient of childhood self-control predicts health, wealth, and public safety. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(7), 2693-2698.
- Molina, D. (2022). *Programa NeuroEduca: Entrenamiento de las funciones ejecutivas en Educación Infantil*. Letra Minúscula.
- Montgomery, P., Burton, J. R., Sewell, R. P., Spreckelsen, T. F., y Richardson, A. J. (2013). Low blood long chain omega-3 fatty acids in UK children are associated with poor cognitive performance and behavior: a cross-sectional analysis from the DOLAB study. *PLOS ONE*, 8(6), e66697.
- Mora, F. (2013). *Neuroeducación: solo se puede aprender aquello que se ama*. Alianza Editorial.
- Mora, F. (2022). *Neuroeducador: una nueva profesión*. Alianza Editorial.
- Morgado, I. (2021). *Materia gris: La apasionante historia del conocimiento del cerebro*. Ariel.
- Moulton, E., Bouhali, F., Monzalvo, K., Poupon, C., Zhang, H., Dehaene, S., ... y Dubois, J. (2019). Connectivity between the visual word form area and the parietal lobe improves after the first year of reading instruction: a longitudinal MRI study in children. *Brain Structure and Function*, 224(4), 1519-1536.

- Nation, K. (2019). Children's reading difficulties, language, and reflections on the simple view of reading. *Australian Journal of Learning Difficulties*, 24(1), 47-73.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2019). *Reproducibility and replicability in science*. The National Academies Press.
- National Research Council (2000). *How people learn: Brain, mind, experience, and school*. National Academies Press.
- Naumann, S., Byrne, M. L., de la Fuente, L. A., Harrewijn, A., Nugiel, T., Rosen, M. L., ... y Matusz, P. J. (2022). Assessing the degree of ecological validity of your study: Introducing the Multidimensional Assessment of Research in Context (MARC) Tool. *Mind, Brain and Education*, 16(3), 228-238.
- Navarro, E., y Arroyo, D. (2021). Recogida (técnicas e instrumentos), análisis y discusión de datos cuantitativos. En *Investigar en comunicación y educación: teoría y práctica científica* (pp. 109-137). Tirant Humanidades.
- Navarro, E., Jiménez, E., Rappoport, S. y Thoilliez, B. (2017). *Fundamentos de la investigación y la innovación educativa*. UNIR Editorial.
- Newton, P. M., y Salvi, A. (2020). How common is belief in the learning styles neuromyth, and does it matter? A pragmatic systematic review. *Frontiers in Education*. 5.
- Nigg, J. T. (2017). Annual Research Review: On the relations among self-regulation, self-control, executive functioning, effortful control, cognitive control, impulsivity, risk-taking, and inhibition for developmental psychopathology. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 58(4), 361-383.
- Nin, V., Delgado, H., Muniz-Terrera, G., y Carboni, A. (2022). Partial agreement between task and BRIEF-P-based EF measures depends on school socioeconomic status. *Developmental Science*, e13241.
- Noble, K. G., y Giebler, M. A. (2020). The neuroscience of socioeconomic inequality. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 36, 23–28.
- Noble, K. G., Houston, S. M., Brito, N. H., Bartsch, H., Kan, E., Kuperman, J. M., ... y Sowell, E. R. (2015). Family income, parental education and brain structure in children and adolescents. *Nature Neuroscience*, 18(5), 773-778.
- Noble, K. G., McCandliss, B. D., y Farah, M. J. (2007). Socioeconomic gradients predict individual differences in neurocognitive abilities. *Developmental Science*, 10(4), 464–480.
- Nosek, B. A., y Errington, T. M. (2020). What is replication? *PLoS Biology*, 18(3), e3000691.
- Nosek, B. A., Hardwicke, T. E., Moshontz, H., Allard, A., Corker, K. S., Dreber, A., ... y Vazire, S. (2022). Replicability, robustness, and reproducibility in psychological science. *Annual Review of Psychology*, 73, 719-748.

- Numela-Caine, R. y Caine, G. (1994). *Making connections: Teaching and the human brain*. Addison-Wesley.
- O'Dell, J. (1981). *Neuroeducation: brain compatible learning strategies*. Dissertation, (Ed.D), University Of Kansas.
- Ochsner, K., y Kosslyn, S. M. (Eds.). (2013). *The Oxford handbook of cognitive neuroscience, Volume 2: The cutting edges*. Oxford University Press.
- OECD (2002). *Understanding the brain: Towards a new learning science*. OECD Publishing.
- OECD (2007). *Understanding the brain: The birth of a learning science*. OECD Publishing.
- OECD (2020). *Education at a Glance 2020: OECD Indicators*. OECD Publishing.
- Ogawa, S., Lee, T. M., Kay, A. R., y Tank, D. W. (1990). Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 87(24), 9868-9872.
- Open Science Collaboration (2015). Estimating the reproducibility of psychological science. *Science*, 349(6251), aac4716.
- Ortiz, T. (2009). *Neurociencia y educación*. Alianza Editorial.
- Owen, A. M., McMillan, K. M., Laird, A. R., y Bullmore, E. (2005). N-back working memory paradigm: A meta-analysis of normative functional neuroimaging studies. *Human Brain Mapping*, 25(1), 46-59.
- Paolicelli, R. C., Bolasco, G., Pagani, F., Maggi, L., Scianni, M., Panzanelli, P., ... y Gross, C. T. (2011). Synaptic pruning by microglia is necessary for normal brain development. *Science*, 333(6048), 1456-1458.
- Pardo, A., Ruiz, M. A. y San Martín, R. (2009). *Análisis de datos en ciencias sociales y de la salud I*. Síntesis.
- Pardo, A. y San Martín, R. (2010). *Análisis de datos en ciencias sociales y de la salud II*. Síntesis.
- Paruthi, S., Brooks, L. J., D'Ambrosio, C., Hall, W. A., Kotagal, S., Lloyd, R. M., ... y Wise, M. S. (2016). Recommended amount of sleep for pediatric populations: a consensus statement of the American Academy of Sleep Medicine. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 12(6), 785-786.
- Pascual-Leone, A., Amedi, A., Fregni, F., y Merabet, L. B. (2005). The plastic human brain cortex. *Annual Review of Neuroscience*, 28, 377-401.
- Pasquinelli, E. (2012). Neuromyths: Why do they exist and persist? *Mind, Brain, and Education*, 6(2), 89-96.
- Paterson, S. J., Heim, S., Friedman, J. T., Choudhury, N., y Benasich, A. A. (2006). Development of structure and function in the infant brain: Implications for cognition, language and social behaviour. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 30(8), 1087-1105.

- Peng, P., y Miller, A. C. (2016). Does attention training work? A selective meta-analysis to explore the effects of attention training and moderators. *Learning and Individual Differences, 45*, 77-87.
- Petersen, S. E., y Posner, M. I. (2012). The attention system of the human brain: 20 years after. *Annual Review of Neuroscience, 35*, 73-89.
- Peterson, E., y Welsh, M. C. (2014). The development of hot and cool executive functions in childhood and adolescence: Are we getting warmer? En S. Goldstein y J. A. Naglieri (Eds.), *Handbook of executive functioning* (pp. 45-65). Springer.
- Pickering, S. J., Gathercole, S. E., y Peaker, S. M. (1998). Verbal and visuospatial short-term memory in children: Evidence for common and distinct mechanisms. *Memory & Cognition, 26*(6), 1117-1130.
- Pickering, S. J., y Gathercole, S. E. (2001). *The working memory test battery for children*. The Psychological Corporation.
- Placzek, M. S., Zhao, W., Wey, H. Y., Morin, T. M., y Hooker, J. M. (2016). PET neurochemical imaging modes. *Seminars in Nuclear Medicine, 46*(1), 20-27.
- Posner, M. I., Petersen, S. E., Fox, P. T., y Raichle, M. E. (1988). Localization of cognitive operations in the human brain. *Science, 240*(4859), 1627-1631.
- Posner, M. I., y Rothbart, M. K. (2007). *Educating the human brain*. American Psychological Association.
- Posner, M. I., Rueda, M. R., y Kanske, P. (2007). Probing the mechanisms of attention. En J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary, y G. G. Berntson (Eds.), *Handbook of psychophysiology* (pp. 410-432). Cambridge University Press.
- Powell, K. E., King, A. C., Buchner, D. M., Campbell, W. W., DiPietro, L., Erickson, K. I., ... y Whitt-Glover, M. C. (2018). The scientific foundation for the physical activity guidelines for Americans. *Journal of Physical Activity and Health, 16*(1), 1-11.
- Pozo, J. I. (1989). *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Ediciones Morata.
- Pozuelos, J. P., Combata, L. M., Abundis, A., Paz-Alonso, P. M., Conejero, Á., Guerra, S., y Rueda, M. R. (2019). Metacognitive scaffolding boosts cognitive and neural benefits following executive attention training in children. *Developmental Science, 22*(2), e12756.
- Pozuelos, J. P., Paz-Alonso, P. M., Castillo, A., Fuentes, L. J., y Rueda, M. R. (2014). Development of attention networks and their interactions in childhood. *Developmental Psychology, 50*(10), 2405.
- Preiss, G. (1996). *Neurodidaktik: theoretische und praktische Beiträge*. Centaurus-Verlag-Gesellschaft.
- Privitera, A. J. (2021). A scoping review of research on neuroscience training for teachers. *Trends in Neuroscience and Education, 24*, 100157.

- Quintanal, J., y García, B. (2012). *Fundamentos básicos de metodología de investigación educativa*. Editorial CCS.
- Raichle, M. E. (2009). A brief history of human brain mapping. *Trends in Neurosciences*, 32(2), 118-126.
- Ramirez, D., Hirsch, I., Tomaiuolo, M., Moncada, D., Viola, H., y Ballarini, F. (2020). Novelty improves the formation and persistence of memory in a naturalistic school scenario. *Frontiers in Psychology*, 11, 48.
- Redick, T. S., Shipstead, Z., Harrison, T. L., Hicks, K. L., Fried, D. E., Hambrick, D. Z., ... y Engle, R. W. (2013). No evidence of intelligence improvement after working memory training: a randomized, placebo-controlled study. *Journal of Experimental Psychology: General*, 142(2), 359.
- Reynolds, G. D., y Romano, A. C. (2016). The development of attention systems and working memory in infancy. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 10, 15.
- Richardson, J. T. (2007). Measures of short-term memory: a historical review. *Cortex*, 43(5), 635-650.
- Ribner, A., Devine, R. T., Blair, C., Hughes, C., y NewFAMS Investigators. (2022). Mothers' and fathers' executive function both predict emergent executive function in toddlerhood. *Developmental Science*, e13263.
- Rizzolatti, G., y Craighero, L. (2004). The mirror-neuron system. *Annual Review of Neuroscience*, 27, 169-192.
- Robinson, K. J., Lubans, D. R., Mavilidi, M. F., Hillman, C. H., Benzing, V. J., Valkenborghs, S. R., ... y Riley, N. (2022). Effects of Classroom-Based Resistance Training With and Without Cognitive Training on Adolescents' Cognitive Function, On-task Behavior, and Muscular Fitness. *Frontiers in Psychology*, 13.
- Rodríguez, J. (2003). Paradigmas, enfoques y métodos en la investigación educativa. *Investigación Educativa*, 7(12), 23-40.
- Roebers, C. M. (2017). Executive function and metacognition: Towards a unifying framework of cognitive self-regulation. *Developmental Review*, 45, 31-51.
- Roediger III, H. L. (2013). Applying cognitive psychology to education: Translational educational science. *Psychological Science in the Public Interest*, 14(1), 1-3.
- Romeo, R. R., Leonard, J. A., Robinson, S. T., West, M. R., Mackey, A. P., Rowe, M. L., y Gabrieli, J. D. (2018). Beyond the 30-million-word gap: Children's conversational exposure is associated with language-related brain function. *Psychological science*, 29(5), 700-710.
- Rosenbaum, G. M., Venkatraman, V., Steinberg, L., y Chein, J. M. (2021). Do adolescents always take more risks than adults? A within-subjects developmental study of context effects on decision making and processing. *PLOS ONE*, 16(8), e0255102.

- Röthlisberger, M., Neuenschwander, R., Cimeli, P., y Roebers, C. (2013). Executive functions in 5-to 8-year olds: Developmental changes and relationship to academic achievement. *Journal of Educational and Developmental Psychology*, 3(2), 153-167.
- Rousseau, L. (2021). Interventions to Dispel Neuromyths in Educational Settings—A Review. *Frontiers in Psychology*, 12.
- Rueckl, J. G., Paz-Alonso, P. M., Molfese, P. J., Kuo, W. J., Bick, A., Frost, S. J., ... y Frost, R. (2015). Universal brain signature of proficient reading: Evidence from four contrasting languages. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(50), 15510-15515.
- Rueda, C. (2021). *Educación la atención con cerebro*. Alianza Editorial.
- Rueda, M. R., Checa, P., y Combita, L. M. (2012). Enhanced efficiency of the executive attention network after training in preschool children: immediate changes and effects after two months. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 2, S192-S204.
- Rueda, M. R., Fan, J., McCandliss, B. D., Halparin, J. D., Gruber, D. B., Lercari, L. P., y Posner, M. I. (2004a). Development of attentional networks in childhood. *Neuropsychologia*, 42(8), 1029-1040.
- Rueda, M. R., Posner, M. I., Rothbart, M. K., y Davis-Stober, C. P. (2004b). Development of the time course for processing conflict: an event-related potentials study with 4 years old and adults. *BMC Neuroscience*, 5(1), 1-13.
- Rueda, M. R., Rothbart, M. K., McCandliss, B. D., Saccomanno, L., y Posner, M. I. (2005). Training, maturation, and genetic influences on the development of executive attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(41), 14931-14936.
- Ruiz Bueno, A. (2021). *Reflexividad y representaciones sociales en estudiantes de educación superior*. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona.
- Rushton, S., Juola-Rushton, A., y Larkin, E. (2010). Neuroscience, play and early childhood education: Connections, implications and assessment. *Early Childhood Education Journal*, 37(5), 351-361.
- Rustom, J., Espinoza, A., Fernández, L., y Mansilla, M. (2012). *Estadística descriptiva, probabilidad e inferencia: una visión conceptual y aplicada*. Universidad de Chile.
- Sabariego, M. (2004). La investigación educativa: génesis, evolución y características. En R. Bisquerra (Ed.), *Metodología de la investigación educativa* (pp. 52-87). La Muralla.
- Sala, G., y Gobet, F. (2017). Does far transfer exist? Negative evidence from chess, music, and working memory training. *Current Directions in Psychological Science*, 26(6), 515-520.
- Sala, G., y Gobet, F. (2019). Cognitive training does not enhance general cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 23(1), 9-20.
- Sala, G., y Gobet, F. (2020). Working memory training in typically developing children: A multilevel meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 27(3), 423-434.

- Salehinejad, M. A., Ghanavati, E., Rashid, M. H. A., y Nitsche, M. A. (2021). Hot and cold executive functions in the brain: A prefrontal-cingular network. *Brain and Neuroscience Advances*, 5, 23982128211007769.
- Salkind, N. J. (2012). *Exploring research*. Pearson Education, Inc.
- Sandrone, S., y Zanin, E. (2014). David Ferrier (1843–1928). *Journal of Neurology*, 261(6), 1247-1248.
- Sankalaite, S., Huizinga, M., Dewandeleer, J., Xu, C., de Vries, N., Hens, E., y Baeyens, D. (2021). Strengthening executive function and self-regulation through teacher-student interaction in preschool and primary school children: A systematic review. *Frontiers in Psychology*, 12.
- Santaracchi, E., Momi, D., Mencarelli, L., Plessow, F., Saxena, S., Rossi, S., ... y Pascual-Leone, A. (2021). Overlapping and dissociable brain activations for fluid intelligence and executive functions. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 21(2), 327-346.
- Sapolsky, R. M. (2015). Stress and the brain: individual variability and the inverted-U. *Nature Neuroscience*, 18(10), 1344-1346.
- Satterfield, B. C., y Killgore, W. D. (2019). Sleep loss, executive function, and decision-making. En M. A. Grandner (Ed.), *Sleep and health* (pp. 339-358). Academic Press.
- Schlaggar, B. L., Brown, T. T., Lugar, H. M., Visscher, K. M., Miezin, F. M., y Petersen, S. E. (2002). Functional neuroanatomical differences between adults and school-age children in the processing of single words. *Science*, 296(5572), 1476-1479.
- Schmidt, M., Mavilidi, M. F., Singh, A., y Englert, C. (2020). Combining physical and cognitive training to improve kindergarten children's executive functions: A cluster randomized controlled trial. *Contemporary Educational Psychology*, 63, 101908.
- Schmiedek, F., Lövdén, M., y Lindenberger, U. (2010). Hundred days of cognitive training enhance broad cognitive abilities in adulthood: Findings from the COGITO study. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 2, 27.
- Scionti, N., Cavallero, M., Zogmaister, C., y Marzocchi, G. M. (2020). Is cognitive training effective for improving executive functions in preschoolers? A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Psychology*, 10, 2812.
- Scott, G., Leritz, L. E., y Mumford, M. D. (2004). The effectiveness of creativity training: A quantitative review. *Creativity Research Journal*, 16(4), 361-388.
- Seghier, M. L., Fahim, M. A., y Habak, C. (2019). Educational fMRI: From the lab to the classroom. *Frontiers in Psychology*, 2769.
- Sejnowski, T. J. (1999). The book of Hebb. *Neuron*, 24(4), 773-776.
- Serra-Garcia, M., y Gneezy, U. (2021). Nonreplicable publications are cited more than replicable ones. *Science Advances*, 7(21), eabd1705.

- Sewell, K. R., Erickson, K. I., Rainey-Smith, S. R., Peiffer, J. J., Sohrabi, H. R., y Brown, B. M. (2021). Relationships between physical activity, sleep and cognitive function: A narrative review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *130*, 369-378.
- Shallice, T. (1982). Specific impairments of planning. *Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences*, *298*(1089), 199-209.
- Shapiro, S. S., y Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, *52*, 591-611.
- Shaw, P., Malek, M., Watson, B., Greenstein, D., De Rossi, P., y Sharp, W. (2013). Trajectories of cerebral cortical development in childhood and adolescence and adult attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biological Psychiatry*, *74*(8), 599-606.
- Sheese, B. E., Rothbart, M. K., Posner, M. I., White, L. K., y Fraundorf, S. H. (2008). Executive attention and self-regulation in infancy. *Infant Behavior and Development*, *31*(3), 501-510.
- Shields, G. S., Sazma, M. A., y Yonelinas, A. P. (2016). The effects of acute stress on core executive functions: A meta-analysis and comparison with cortisol. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *68*, 651-668.
- Shipstead, Z., Redick, T. S., y Engle, R. W. (2012). Is working memory training effective? *Psychological bulletin*, *138*(4), 628.
- Shrout, P. E., y Rodgers, J. L. (2018). Psychology, science, and knowledge construction: Broadening perspectives from the replication crisis. *Annual Review of Psychology*, *69*(1), 487-510.
- Sigman, M., Peña, M., Goldin, A. P., y Ribeiro, S. (2014). Neuroscience and education: prime time to build the bridge. *Nature Neuroscience*, *17*(4), 497-502.
- Simons, D. J., Boot, W. R., Charness, N., Gathercole, S. E., Chabris, C. F., Hambrick, D. Z., y Stine-Morrow, E. A. (2016). Do “brain-training” programs work? *Psychological Science in the Public Interest*, *17*(3), 103-186.
- Singer, M. A., y Goldin-Meadow, S. (2005). Children learn when their teacher's gestures and speech differ. *Psychological Science*, *16*(2), 85-89.
- Singh, A. S., Saliassi, E., Van Den Berg, V., Uijtdewilligen, L., De Groot, R. H., Jolles, J., ... y Chinapaw, M. J. (2019). Effects of physical activity interventions on cognitive and academic performance in children and adolescents: a novel combination of a systematic review and recommendations from an expert panel. *British Journal of Sports Medicine*, *53*(10), 640-647.
- Sio, U. N., y Ormerod, T. C. (2009). Does incubation enhance problem solving? A meta-analytic review. *Psychological Bulletin*, *135*(1), 94.
- Smid, C. R., Karbach, J., y Steinbeis, N. (2020). Toward a science of effective cognitive training. *Current Directions in Psychological Science*, *29*(6), 531-537.

- Smith, E. E., y Jonides, J. (1999). Storage and executive processes in the frontal lobes. *Science*, 283(5408), 1657-1661.
- Smithers, L. G., Sawyer, A. C., Chittleborough, C. R., Davies, N. M., Davey Smith, G., y Lynch, J. W. (2018). A systematic review and meta-analysis of effects of early life non-cognitive skills on academic, psychosocial, cognitive and health outcomes. *Nature Human Behaviour*, 2(11), 867-880.
- Snyder, H. R., Miyake, A., y Hankin, B. L. (2015). Advancing understanding of executive function impairments and psychopathology: bridging the gap between clinical and cognitive approaches. *Frontiers in Psychology*, 6, 328.
- Soderstrom, N. C., y Bjork, R. A. (2015). Learning versus performance: An integrative review. *Perspectives on Psychological Science*, 10(2), 176-199.
- Sousa, D. A. (2000). *How the brain learns*. Corwin Press.
- St. John, A. M., Kibbe, M., y Tarullo, A. R. (2019). A systematic assessment of socioeconomic status and executive functioning in early childhood. *Journal of Experimental Child Psychology*, 178, 352-368.
- Stevens, C., Lauinger, B., y Neville, H. (2009). Differences in the neural mechanisms of selective attention in children from different socioeconomic backgrounds: an event-related brain potential study. *Developmental Science*, 12(4), 634-646.
- Stevens, S. S. (1946). On the theory of scales of measurement. *Science*, 103(2684), 677-680.
- Storbeck, J., y Clore, G. L. (2007). On the interdependence of cognition and emotion. *Cognition and Emotion*, 21(6), 1212-1237.
- Strobach, T., y Karbach, J. (Eds.) (2021). *Cognitive training: An overview of features and application* (2nd ed.). Springer.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference educational neuroscience in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643-662.
- Subramaniam, K., Kounios, J., Parrish, T. B., y Jung-Beeman, M. (2009). A brain mechanism for facilitation of insight by positive affect. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(3), 415-432.
- Sunyer, J., Esnaola, M., Alvarez-Pedrerol, M., Forn, J., Rivas, I., López-Vicente, M., ... y Querol, X. (2015). Association between traffic-related air pollution in schools and cognitive development in primary school children: a prospective cohort study. *PLoS Medicine*, 12(3), e1001792.
- Sylwester, R. (1995). *A celebration of neurons: An educators guide to the human brain*. ASCD.
- Szkudlarek, E., y Brannon, E. M. (2017). Does the approximate number system serve as a foundation for symbolic mathematics? *Language Learning and Development*, 13(2), 171-190.

- Taatgen, N. A. (2013). The nature and transfer of cognitive skills. *Psychological Review*, 120(3), 439.
- Taylor, R. D., Oberle, E., Durlak, J. A., y Weissberg, R. P. (2017). Promoting positive youth development through school-based social and emotional learning interventions: A meta-analysis of follow-up effects. *Child Development*, 88(4), 1156-1171.
- Thomas, M. S. (2013). Educational neuroscience in the near and far future: Predictions from the analogy with the history of medicine. *Trends in Neuroscience and Education*, 2(1), 23-26.
- Thomas, M. S. (2019). Response to Dougherty and Robey (2018) on neuroscience and education: enough bridge metaphors—interdisciplinary research offers the best hope for progress. *Current Directions in Psychological Science*, 28(4), 337-340.
- Thomas, M. S., y Ansari, D. (2020). Educational Neuroscience: Why Is Neuroscience Relevant to Education? En M. S. C. Thomas, D. Mareschal, y I. Dumontheil, *Educational Neuroscience: Development across the life span* (pp. 3-22). Routledge.
- Thomas, M. S., Ansari, D., y Knowland, V. C. (2019). Annual research review. Educational neuroscience: Progress and prospects. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 60(4), 477-492.
- Thomas, M. S., Kovas, Y., Meaburn, E. L., y Tolmie, A. (2015). What can the study of genetics offer to educators? *Mind, Brain, and Education*, 9(2), 72-80.
- Thomas, M. S., y Johnson, M. H. (2008). New advances in understanding sensitive periods in brain development. *Current Directions in Psychological Science*, 17(1), 1-5.
- Thomas, M. S., y Knowland, V. (2009). Sensitive periods in brain development: Implications for education policy. *European Psychiatric Review*, 2(1), 17-20.
- Thomson, J. M., Leong, V., y Goswami, U. (2013). Auditory processing interventions and developmental dyslexia: A comparison of phonemic and rhythmic approaches. *Reading and Writing*, 26(2), 139-161.
- Thorell, L. B., Lindqvist, S., Bergman Nutley, S., Bohlin, G., y Klingberg, T. (2009). Training and transfer effects of executive functions in preschool children. *Developmental Science*, 12(1), 106-113.
- Thorndike, E. L. (1926). *Educational psychology* (Vol. 1). Teachers College, Columbia University.
- Tiego, J., Bellgrove, M. A., Whittle, S., Pantelis, C., y Testa, R. (2020). Common mechanisms of executive attention underlie executive function and effortful control in children. *Developmental Science*, 23(3), e12918.
- Tierney, A. L., y Nelson III, C. A. (2009). Brain development and the role of experience in the early years. *Zero to Three*, 30(2), 9.

- Titz, C., y Karbach, J. (2014). Working memory and executive functions: effects of training on academic achievement. *Psychological Research*, 78(6), 852-868.
- Tokuhama-Espinosa, T. N. (2008). *The scientifically substantiated art of teaching: A study in the development of standards in the new academic field of neuroeducation (mind, brain, and education science)*. Tesis Doctoral. Capella University.
- Tokuhama-Espinosa, T. (2010). *Mind, brain, and education science: A comprehensive guide to the new brain-based teaching*. WW Norton & Company.
- Tokuhama-Espinosa, T. (2019). The learning sciences framework in educational leadership. *Frontiers in Education*, 4(136).
- Torrijos-Muelas, M., González-Víllora, S., y Bodoque-Osma, A. R. (2021). The persistence of neuromyths in the educational settings: a systematic review. *Frontiers in Psychology*, 3658.
- Tovazzi, A., Giovannini, S., y Basso, D. (2020). A new method for evaluating knowledge, beliefs, and neuromyths about the mind and brain among Italian teachers. *Mind, Brain, and Education*, 14(2), 187-198.
- Traut, H. J., Guild, R. M., y Munakata, Y. (2021). Why does cognitive training yield inconsistent benefits? A meta-analysis of individual differences in baseline cognitive abilities and training outcomes. *Frontiers in Psychology*, 12, 662139.
- Traverso, L., Viterbori, P., y Usai, M. C. (2019). Effectiveness of an executive function training in Italian preschool educational services and far transfer effects to pre-academic skills. *Frontiers in Psychology*, 10, 2053.
- Troller-Renfree, S. V., Costanzo, M. A., Duncan, G. J., Magnuson, K., Gennetian, L. A., Yoshikawa, H., ... y Noble, K. G. (2022). The impact of a poverty reduction intervention on infant brain activity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(5), e2115649119.
- Ursache, A., y Noble, K. G. (2016). Neurocognitive development in socioeconomic context: Multiple mechanisms and implications for measuring socioeconomic status. *Psychophysiology*, 53(1), 71-82.
- Vaccaro, A. G., y Fleming, S. M. (2018). Thinking about thinking: a coordinate-based meta-analysis of neuroimaging studies of metacognitive judgements. *Brain and Neuroscience Advances*, 2, 2398212818810591.
- Valladolid-Acebes, I., Merino, B., Principato, A., Fole, A., Barbas, C., Lorenzo, M. P., ... y Cano, V. (2012). High-fat diets induce changes in hippocampal glutamate metabolism and neurotransmission. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 302(4), E396-E402.

- Valls-Pedret, C., Sala-Vila, A., Serra-Mir, M., Corella, D., De la Torre, R., Martínez-González, M. Á., ... y Ros, E. (2015). Mediterranean diet and age-related cognitive decline: a randomized clinical trial. *JAMA Internal Medicine*, *175*(7), 1094-1103.
- Van den Broek, G., Takashima, A., Wiklund-Hörnqvist, C., Wirebring, L. K., Segers, E., Verhoeven, L., y Nyberg, L. (2016). Neurocognitive mechanisms of the “testing effect”: A review. *Trends in Neuroscience and Education*, *5*(2), 52-66.
- Van der Leij, A., Van Bergen, E., van Zuijen, T., De Jong, P., Maurits, N., y Maassen, B. (2013). Precursors of developmental dyslexia: an overview of the longitudinal Dutch dyslexia programme study. *Dyslexia*, *19*(4), 191-213.
- Vargas, A., López, M., Lillo, C., y Vargas, M. J. (2012). El papiro de Edwin Smith y su trascendencia médica y odontológica. *Revista Médica de Chile*, *140*(10), 1357-1362.
- Vicerectorat de Recerca de la Universitat de Barcelona. (2020). *Codi d'integritat en la recerca de la Universitat de Barcelona [Código de integridad en la investigación de la Universidad de Barcelona / The University of Barcelona's code of conduct for research integrity]*. Universitat de Barcelona. Recuperado de <http://hdl.handle.net/2445/166917>
- Vilà-Giménez, I., y Prieto, P. (2020). Encouraging kids to beat: Children's beat gesture production boosts their narrative performance. *Developmental Science*, *23*(6), e12967.
- Viswanathan, P., y Nieder, A. (2013). Neuronal correlates of a visual “sense of number” in primate parietal and prefrontal cortices. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *110*(27), 11187-11192.
- Vladisauskas, M., Belloli, L. M., Slezak, D. F., y Goldin, A. P. (2022). A machine learning approach to personalize computerized cognitive training interventions. *Frontiers in Artificial Intelligence*, *5*.
- Vogel, S., y Schwabe, L. (2016). Learning and memory under stress: implications for the classroom. *NPJ Science of Learning*, *1*(1), 1-10.
- Von Bastian, C. C., Belleville, S., Udale, R. C., Reinhartz, A., Essounni, M., y Strobach, T. (2022). Mechanisms underlying training-induced cognitive change. *Nature Reviews Psychology*, *1*(1), 30-41.
- Von Bastian, C. C., y Oberauer, K. (2013). Distinct transfer effects of training different facets of working memory capacity. *Journal of Memory and Language*, *69*(1), 36-58.
- Von Stumm, S., y Plomin, R. (2015). Socioeconomic status and the growth of intelligence from infancy through adolescence. *Intelligence*, *48*, 30-36.
- Wackerly, D. D., Mendenhall III, W., y Scheaffer, R. L. (2008). *Estadística matemática con aplicaciones*. Cengage Learning.
- Wang, C., Jaeggi, S. M., Yang, L., Zhang, T., He, X., Buschkuhl, M., y Zhang, Q. (2019). Narrowing the achievement gap in low-achieving children by targeted executive function training. *Journal of Applied Developmental Psychology*, *63*, 87-95.

- Wang, J. J., Odic, D., Halberda, J., y Feigenson, L. (2016). Changing the precision of preschoolers' approximate number system representations changes their symbolic math performance. *Journal of Experimental Child Psychology*, 147, 82-99.
- Wasserstein, R. L., Schirm, A. L., y Lazar, N. A. (2019). Moving to a world beyond “ $p < 0.05$ ”. *The American Statistician*, 73(sup1), 1-19.
- Weng, H. Y., Fox, A. S., Shackman, A. J., Stodola, D. E., Caldwell, J. Z., Olson, M. C., ... y Davidson, R. J. (2013). Compassion training alters altruism and neural responses to suffering. *Psychological Science*, 24(7), 1171-1180.
- Wickens, A. P. (2014). *A history of the brain: from stone age surgery to modern neuroscience*. Psychology Press.
- Wiemers, E. A., Redick, T. S., y Morrison, A. B. (2019). The influence of individual differences in cognitive ability on working memory training gains. *Journal of Cognitive Enhancement*, 3, 174-185.
- Wieth, M. B., y Zacks, R. T. (2011). Time of day effects on problem solving: When the non-optimal is optimal. *Thinking & Reasoning*, 17(4), 387-340.
- Wilhelm, I., Diekelmann, S., Molzow, I., Ayoub, A., Mölle, M., y Born, J. (2011). Sleep selectively enhances memory expected to be of future relevance. *Journal of Neuroscience*, 31(5), 1563-1569.
- Willingham, D. T. (2009). Three problems in the marriage of neuroscience and education. *Cortex*, 45(4), 544.
- Willis, J. (2006). *Based strategies to ignite student learning: insights from a neurologist and classroom teacher*. ASCD.
- Wiseheart, M., Küpper-Tetzl, C. E., Weston, T., Kim, A. S., Kapler, I. V., y Foot-Seymour, V. (2019). Enhancing the quality of student learning using distributed practice. En J. Dunlosky y K. Rawson (Eds.), *The Cambridge handbook of cognition and education* (pp. 550-584). Cambridge University Press.
- Witrock, M. C. (1980). *The brain and psychology*. Academic Press.
- Woodworth, R. S., y Thorndike, E. L. (1901). The influence of improvement in one mental function upon the efficiency of other functions (I). *Psychological Review*, 8(3), 247.
- Wright, A., y Diamond, A. (2014). An effect of inhibitory load in children while keeping working memory load constant. *Frontiers in Psychology*, 5, 213.
- Wynn, K. (1992). Addition and subtraction by human infants. *Nature*, 358(6389), 749-750.
- Yogman, M., Garner, A., Hutchinson, J., Hirsh-Pasek, K., Golinkoff, R. M., Baum, R., ... y Committee on psychosocial aspects of child and family health (2018). The power of play: A pediatric role in enhancing development in young children. *Pediatrics*, 142(3).

- Yoncheva, Y. N., Blau, V. C., Maurer, U., y McCandliss, B. D. (2010). Attentional focus during learning impacts N170 ERP responses to an artificial script. *Developmental Neuropsychology*, 35(4), 423-445.
- Zelazo, P. D. (2015). Executive function: Reflection, iterative reprocessing, complexity, and the developing brain. *Developmental Review*, 38, 55-68.
- Zelazo, P. D. (2020). Executive function and psychopathology: a neurodevelopmental perspective. *Annual Review of Clinical Psychology*, 16, 431-454.
- Zelazo, P. D., y Carlson, S. M. (2012). Hot and cool executive function in childhood and adolescence: Development and plasticity. *Child Development Perspectives*, 6(4), 354-360.
- Zelazo, P. D., y Carlson, S. M. (2020). The neurodevelopment of executive function skills: Implications for academic achievement gaps. *Psychology & Neuroscience*, 13(3), 273.
- Zelazo, P. D., Müller, U., Frye, D., Marcovitch, S., Argitis, G., Boseovski, J., ... y Carlson, S. M. (2003). The development of executive function in early childhood. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 68(3), 1-137.
- Zhang, Z., Peng, P., Eickhoff, S. B., Lin, X., Zhang, D., y Wang, Y. (2021). Neural substrates of the executive function construct, age-related changes, and task materials in adolescents and adults: ALE meta-analyses of 408 fMRI studies. *Developmental Science*, 24(6), e13111.
- Zhang, Q., Wang, C., Zhao, Q., Yang, L., Buschkuhl, M., y Jaeggi, S. M. (2019). The malleability of executive function in early childhood: Effects of schooling and targeted training. *Developmental science*, 22(2), e12748.
- Zonneveld, A. K., Serpell, Z., Parr, T., y Ellefson, M. R. (2022). Executive function measurement in urban schools: Exploring links between performance-based metrics and teacher ratings. *Developmental Science*, 25(6), e13319.

